



**EESTI MAAÜLIKOOL**  
**Põllumajandus- ja keskkonnainstituut**

**Raimo Selgis**

**KALAJÄÄTMETE BIOGAASI TOOTLIKKUSE  
HINDAMINE**  
**ASSESSMENT OF THE BIOGAS POTENTIAL OF FISH  
WASTE**

Magistritöö  
Keskkonnakorralduse ja -poliitika õppekava

Juhendaja: Kaja Orupõld, PhD

Tartu 2021

Eesti Maaülikool Kreutzwaldi 1, Tartu 51014		Magistritöö lühikokkuvõte	
Autor: Raimo Selgis		Õppekava: Keskkonnakorraldus ja –poliitika	
Pealkiri: Kalajäätmete biogaasi tootlikkuse hindamine			
Lehekülgi: 46	Jooniseid: 12	Tabeleid: 6	Lisasid: 0
Osakond: Keskkonnakaitse ja maastikukorralduse õppetool Uurimisvaldkond: Keskkonnatehnoloogia, reostuskontroll (T270) Juhendaja: dotsent Kaja Orupõld Kaitsmiskoht ja aasta: Tartu 2021			
<p>Üle maailma räägitakse kliimamuutustest ja suurenenud CO<sub>2</sub> heitmete hulgast, kuid sellest hoolimata sõidab enamik meie transpordisektori sõidukeid ringi fossiilsetel kütustel. Aastaks 2030 on võtnud Eesti eesmärgiks kasutada transpordis 14% taastuvkütuseid, millest osa on plaanis katta biometaaniga. Kuna kala töötlemisel tekib märkimisväärne kogus jäätmeid, siis võiks neid biolagunevaid kalajäätmeid ära kasutada anaeroobsel kääritamisel biogaasi tootmiseks, mis on oluline taastuenergia fossiilsete kütuste asendajana.</p> <p>Magistritöö eesmärk on saada teada toiduks kõlbmatu kala ja kala töötlemisel tekkivate jäätmete potentsiaal biogaasi ja biometaan tootmiseks. Biogaasi ja metaani tootlikust uuritakse laboratoorselt biometaan potentsiaali (BMP) katsetega.</p> <p>Analüüsitud kala töötlemisjäätmete metaani tootlikkus kuivaine kohta oli 294–651 L/kg (keskmine tootlikkus koos standardhälbega 431±169 L/kg KA). Kõige kõrgem metaani tootlikkus oli vikerforelli sisikonnal (651 L/kg KA, 661 L/kg OA). Kalaproovide metaani tootlikkus kuivaine kohta oli 333–533 L/kg (keskmine tootlikkus koos standardhälbega 425±101 L/kg KA). Kõige kõrgem metaani tootlikkus oli vikerforellil (533 L/kg KA, 591 L/kg OA). Angerjasõnniku proovide metaani tootlikkus kuivaine kohta jäi vahemikku 246–480 L/kg. Metaani sisaldus biogaasis oli 65–72%.Tulemustest selgus, et kõige suurem biometaan potentsiaal oli vikerforelli sisikonnal, mille korral 1 tonnist jäätmetest saab potentsiaalselt toota 482 m<sup>3</sup> biometaan.</p> <p>Kalajäätmetel on suur potentsiaal biogaasi tootmiseks. Võrreldes biogaasijaamades laialdaselt kasutatavate põllumajanduslike substraatidega saab kalajäätmetest 1,5–2 korda rohkem biogaasi.</p>			
Märksõnad: Jäätmekäitlus, taastuenergia, anaeroobne kääritamine, biometaan, kalajäätmed			

Estonian University of Life Sciences Kreutzwaldi 1, Tartu 51014		Abstract of Master's Thesis	
Author: Raimo Selgis		Speciality: Environmental management and Policy	
Title: Assessment of the biogas potential of fish waste			
Pages: 46	Figures: 12	Tables: 6	Appendixes: 0
Department: Institute of Agricultural and Environmental Sciences Field of research: Environmental technology, pollution control (T270) Supervisors: docent Kaja Orupõld Place and date: Tartu 2021			
<p>All over the world there is discussion about climate change and increased CO<sub>2</sub> emissions, but nevertheless most of the transportation relies on fossil fuels. Estonia has taken a goal to use 14% of renewable fuels in transport sector by 2030, of which part is planned to be covered by biomethane. Since fish processing produces a substantial amount of waste, the biodegradable fish waste could be used for anaerobic digestion to produce biogas, which is an important renewable fuel to substitute fossil fuels.</p> <p>The goal of the thesis is to find out the potential of inedible fish and fish waste for biogas and biomethane production. The biogas and biomethane potentials were studied experimentally by biomethane potential (BMP) test.</p> <p>The methane potentials of analyzed fish waste were in the range of 294–651 L/kg TS (average potential with standard deviation was 431±169 L/kg TS). Rainbow trout gut showed the highest methane potential (651 L/kg TS, 661 L/kg VS). The methane potentials of fish samples were in the range of 333–533 L/kg TS (average potential with standard deviation was 425±101 L/kg TS). Rainbow trout showed the highest methane potential (533 L/kg TS, 591 L/kg VS). Samples of eel manure had biomethane potential from 246 to 480 L/kg TS. Methane content in biogas produced from fish waste was 65–72%. The results showed that the highest biogas potential had rainbow trout gut, from 1 ton of gut 482 m<sup>3</sup> of biomethane could potentially be produced.</p> <p>Fish waste has a great potential for biogas production. Compared to agricultural substrates widely used for biogas production, 1.5–2 times more biogas could potentially be produced.</p>			
Keywords: waste management, renewable energy, anaerobic digestion, biomethane, fish waste			

# SISUKORD

<b>SISSEJUHATUS.....</b>	<b>5</b>
<b>1. KIRJANDUSE ÜLEVAADE.....</b>	<b>7</b>
1.1 Biojäätmed.....	7
1.2 Anaeroobne kääritamine .....	8
1.2.1 Biogaas ja kääritusjääk.....	9
1.2.2 Biogaasi tootmine.....	10
1.3 Biogaasi ja biometaani tootmine Eestis .....	14
1.4 Biogaasi tootmine kalajäätmetest .....	18
1.4.1 Püütud ja müüdud kalade kogused Eestis .....	18
1.4.2 Kalajäätmel.....	20
1.4.2 Kalajäätmete käitlemise nõuded biogaasi tootmisel .....	21
<b>2. MATERJAL JA METOODIKA .....</b>	<b>25</b>
2.1. Uuritud proovid.....	25
2.3. Biogaasi ja biometaani potentsiaali määramine.....	26
<b>3. TULEMUSED JA ARUTELU .....</b>	<b>28</b>
3.1. Kuivaine ja orgaaniline aine proovides.....	28
3.2. Biogaasi ja biometaani tootlikkus .....	29
3.3. Kalajäätmete biometaani potentsiaal .....	35
<b>KOKKUVÕTE .....</b>	<b>37</b>
<b>SUMMARY .....</b>	<b>39</b>
<b>KASUTATUD KIRJANDUS.....</b>	<b>41</b>

## SISSEJUHATUS

Energia tarbimine on olnud aastate vältel tõusujoonel, kuid selle tootmisega kaasnevad keskkonnaprobleemid. Üle maailma räägitakse kliimamuutustest ja suurenenud CO<sub>2</sub> heitmete hulgast ning otsitakse võimalusi toota energiat taastuvatest allikatest. Üheks suurimaks CO<sub>2</sub> tekitajaks peetakse taastumatuid fossiilseid kütuseid. Paraku kasutab aga enamik meie transpordisektoris olevaid sõidukeid just fossiilseid kütuseid. Alternatiiviks fossiilsetele kütustele on toota jäätmetest biogaasi anaeroobse kääritamise teel. Anaeroobne kääritamine osana majanduslikust ringsüsteemist annab võimaluse maksimaalselt jäätmeid väärintada ning toota jäätmetest taastuvenergiat. Taastuvenergia allikate laialdasel kasutamisel väheneks fossiilsete kütuste kasutamine ning sellest tingituna väheneks ka õhku paiskuvate heitmete hulk, mis tekivad fossiilsete kütuste kasutamisel.

Antud töö keskendub biogaasi tootmisele kalajäätmetest. Kala kasvatamisel vesiviljelusettevõtetes ja kala töötlemisel tekib märkimisväärne kogus jäätmeid. Nõudlus kalatoodete järele on viimaste aastakümnetega suurenenud ning seeläbi ka tekkivate kalajäätmete hulk. Kalajäätmete käitlemisele ja väärintamisele on Eestis seni vähe tähelepanu pööratud. Valdav osa kalajäätmetest leiab oma tee prügilasse, kus see tekitab kasvuhoonegaasi, kuid toodetakse ka kalaõli või kalajahu. Biolagunevad kalajäätmed võiks olla toormeks biogaasi tootmisel anaeroobse kääritamise teel, kuid paraku seda väga ei tehta. Kuna kalajäätmed riknevad kiiresti, siis on mõistlik lõhnahäiringu vältimiseks käidelda neid kinnistes süsteemides ja toota kalajäätmetest biogaasi.

Kirjanduse andmetel on kalajäätmetel suur potentsiaal biogaasi tootmiseks. Biogaasi saab puhastada biometaaniks ning seda kasutada kõikjal kus maagaasigi. Nii saame üha rohkem loobuda fossiilsetest kütustest ja liikuda keskkonda säästvama ühiskonna poole.

Magistritöö eesmärgist tulenevalt formuleeriti järgmised uurimisküsimused:

1. Kui suur on kalajäätmete potentsiaal biogaasi ja biometaani tootmiseks?
2. Milline on biogaasi ja biometaani potentsiaal erinevate kalajäätmete korral?
3. Millised on kalajäätmete käitlemisele kehtivad nõuded biogaasi tootmisel?

Magistritöö autor avaldab sügavat lugupidamist ja tänu Kaja Orupõllule, kelle juhendamisel ja suunamisel ning meeldiva koostöö tulemusel magistritöö valmis.

Laboris katsete läbi viimiseks vajalike proovide eest tänab autor kõiki neid, kes olid lahkesti nõus proovideks vajalikke materjale andma: Martin Liiv (Kalatalu Härjanurmes), Indrek Bremraud (Viiratsi Angerjafarm), Ilja Bõstrov (Peipsi Kalatööstus), Maidu Silm (Eesti Maaülikool), Rihard Reissaar (Eesti Maaülikool) ja Kaido Põhako (Tartu Veevärk).

# 1. KIRJANDUSE ÜLEVAADE

## 1.1 Biojäätmed

Looduse hoidmiseks järeltulevatele põlvedele peame muutma oma tarbimisharjumusi loodussõbralikuma tarbimise suunas ning vältima võimalikult suurel määral jäätmete prügilasse ladestamist. Jäätmeseadus (Jäätmeseadus 2004, § 15 lg 1) sõnastab jäätmete taaskasutamise järgmiselt – see on „jäätmekäitlustoiming, mille peamine tulemus on jäätmete kasutamine kasulikul otstarbel selliselt, et nad asendavad teisi materjale, mida muidu oleks sellel otstarbel kasutatud, või jäätmete ettevalmistamine nende eelnimetatud otstarbel ja viisil kasutamiseks kas tootmises või majanduses laiemalt“.

Ringlussevõtt ja bioloogiline ringlussevõtt on jäätmeseaduse kohaselt jäätmete taaskasutamistoiming, mille käigus jäätmematerjalid töödeldakse toodeteks, materjalideks või aineteks, et kasutada neid nende esialgsel või muul eesmärgil. See ei hõlma endas jäätmete energiakasutust ja töötlemist materjalideks, mida kasutatakse kütusena või tagasitäiteks (Jäätmeseadus 2004, § 15 lg 4). Bioloogiline ringlussevõtt on jäätmete biolagunevate osade lagundamine kontrollitavates tingimustes ning mikroorganismide abil, mille tulemusena saadakse stabiliseeritud orgaanilised jääkmaterjalid või metaan. (Jäätmeseadus § 15 lg 6). Keskkonnasõnastiku (EnDic 2004 s. v. bioloogiline ringlussevõtt) järgi on bioloogiline ringlussevõtt orgaaniliste jäätmete käitlemine mikroorganismide kaasabil. Selliseks protsessiks on näiteks kompostimine ja metaankääritamine. Prügilasse ladestamist ei loeta bioloogiliseks ringlussevõtuks (Jäätmeseadus 2004, § 15 lg 6)

Biolagunevad jäätmed on anaeroobselt või aeroobselt lagunevad jäätmed. Nendeks jäätmeteks on näiteks toidujäätmed, paber ja papp (Jäätmeseadus 2004, § 5), liha- ja kalajäätmed (Jäätmemajandus 2021).

Biojäätmeks nimetatakse järgmisi biolagunevaid jäätmeid:

- 1) aia- ja haljastujäätmed;
- 2) kodumajapidamises, jaemüügikohas ja toitlustusasutuses tekkinud toidu- ja köögijäätmed;
- 3) toiduainetööstuses tekkinud jäätmed, mis on oma koostise ja olemuse poolest samalaadsed punktis 2 nimetatud jäätmetega (Jäätmeseadus 2004, § 5<sup>1</sup>).

Bioloogiliste jäätmete ringlusse võtmise tulemusel saadakse stabiilsed orgaanilised jääkmaterjalid või metaan (Jäätmeseadus 2004, § 15 lg 6).

## 1.2 Anaeroobne kääritamine

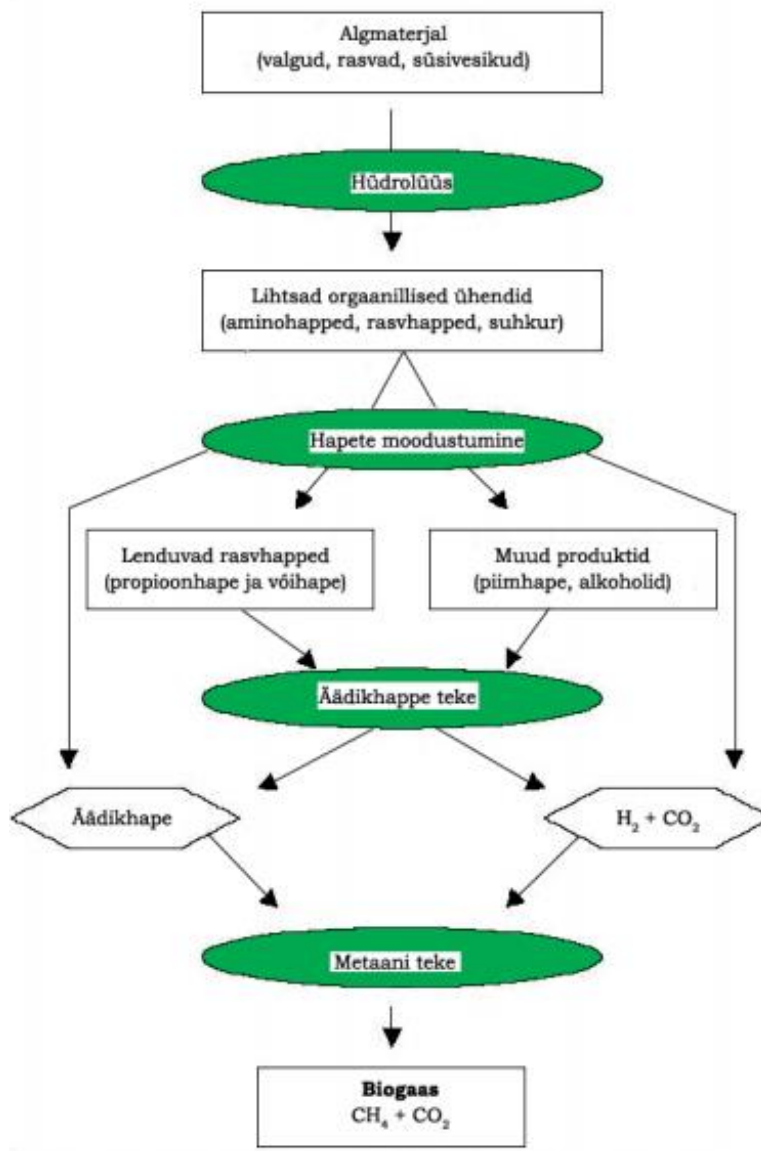
Tänapäeva ühiskond pöörab üha rohkem tähelepanu keskkonnakaitsele ja taastuvenergia kasutamisele ning otsitakse võimalusi asendada fossiilsete kütuste tootmine taastuvenergia tootmisega (Mao *et al* 2015). Anaeroobne kääritamine on üks populaarsemaid taastuvenergia tootmise viise nii põllumajanduses kui ka tööstusettevõtetes (Achinas *et al* 2020). Anaeroobse kääritamise protsessis (ingl *anaerobic digestion* või lühendina AD) lagundavad erinevad mikroorganismid orgaanilist materjali ning hapniku puudumisel tekib käärimine ja eralduvad erinevad gaasid (Achinas *et al* 2020). Orgaanilise aine lagunemise tulemusel anaeroobses keskkonnas tekib metaanirikas biogaas (Kask 2020). Biogaasi toodetakse spetsiaalsetes õhutihedates mahutites, mida nimetatakse käärititeks ja bioreaktoriteks (Kriipsalu *et al* 2016).

Anaeroobse kääritamise saab jagada neljaks etapiks (Joonis 1):

1. hüdroolüüs
2. hapete moodustumine
3. äädikhappe teke
4. metaani teke (Ren *et al* 2018).

Esimeses etapis toimub suhteliselt aeglane hüdroolüüsifaas, kus algmaterjal (süsivesikud, valgud, rasvad) muudetakse lihtsamateks orgaanilisteks ühenditeks (Biogaasi tootmine...2009). Teises etapis toimub kiire happemoodustumine, milles muudetakse esimeses etapis tekkinud saadused atsetogeensete bakterite abil väikese molekulmassiga lenduvateks rasvhapeteks (Kriipsalu *et al* 2016). Nendeks on näiteks äädik-, propioon- ja võihapped ning samal ajal tekib vähesel määral ka alkohole ning piimhapet (Biogaasi tootmine...2009). Kolmandas etapis toimub kiire käärimine ning bakterid muudavad pikema ahelaga orgaanilised happed ja alkoholid äädikhappeks ning molekulaarseks vesinikuks H<sub>2</sub> (Kriipsalu *et al* 2016). See faas on oluline, et saaks tekkida metaan ning sobiv elukeskkond happeid tootvatele bakteritele (Biogaasi tootmine...2009). Viimases, neljandas etapis toimub metanogeneesi protsess ehk tekib biogaas (Kriipsalu *et al* 2016).





**Joonis 1.** Anaeroobse käärimisprotsessi neli etappi (Biogaasi tootmine...2009).

### 1.2.1 Biogaas ja kääritusjääk

Eesti keele seletav sõnaraamat (2009) sõnastab biogaasi järgnevalt – see on „orgaanilise aine käärimisel tekkiv peamiselt metaanist ja süsinikdioksiidist koosnev gaas“. Achinas *et al* (2020) käsitluses on biogaas biolagunevatest materjalidest toodetav gaas, mis tekib kääritamise teel anaeroobses keskkonnas, kindlal temperatuuril.

Biogaas koosneb 55-70% metaanist ( $\text{CH}_4$ ), 30–45% süsinikdioksiidist ( $\text{CO}_2$ ) ja teistest komponentidest nagu  $\text{N}_2$ ,  $\text{O}_2$ ,  $\text{NH}_3$ ,  $\text{H}_2\text{S}$  (Nicholas *et al* 2013). Biogaasi tootmise käigus tekib kääritusjääk ehk digestaat, mida saab kasutada põllumajanduskultuuride väetamiseks mineraalväetiste asemel (Weiland 2010).

Jäätmeseaduse § 2<sup>1</sup> lg 2 alusel vastu võetud määruse „Nõuded biolagunevatest jäätmetest biogaasi tootmisel tekkiva kääritusjäägi kohta“ on kääritusjääki defineeritud kui biogaasi tootmisprotsessi käigus orgaanilise aine anaeroobsel lagundamisel järele jäävat materjali (Nõuded biolagunevatest...§ 2 lg 1).

Tekkiv kääritusjääk on vedelal või püdelal kujul (Kriipsalu *et al* 2016). Vedel kääritusjääk on saadud märgkääritusel või kääritusjäägi separeerimisel saadud vedel fraktsioon ning kuivaine sisaldus kääritusjäägis on väiksem kui 15%. Tahke kääritusjääk on kuivkääritusel või kääritusjäägi separeerimisel saadud tahke fraktsioon ning kuivaine sisaldus tahkes kääritusjäägis peab olema vähemalt 15% (Nõuded biolagunevatest...§ 2 lg 2 ja 3).

Kääritusjääk väetisena on pinnasesse hästi imenduv ning on võimeline hävitama umbrohuseemneid, baktereid, viiruseid, seeni ja parasiite (Weiland 2010). Kääritusjääki ei tohi aastaringselt põllule laotada. Eestis reguleerib põllumajanduses väetiste ja sõnniku kasutamise ning hoidmise nõudeid veeseadus, mille kohaselt on põldudel digestaadi kasutamine 1. detsembrist kuni 20. märtsini keelatud ja juhul, kui maapind on külmunud, lumega kaetud, perioodiliselt üle ujutatud või veega küllastunud keelatud (Veeseadus 2019, § 159).

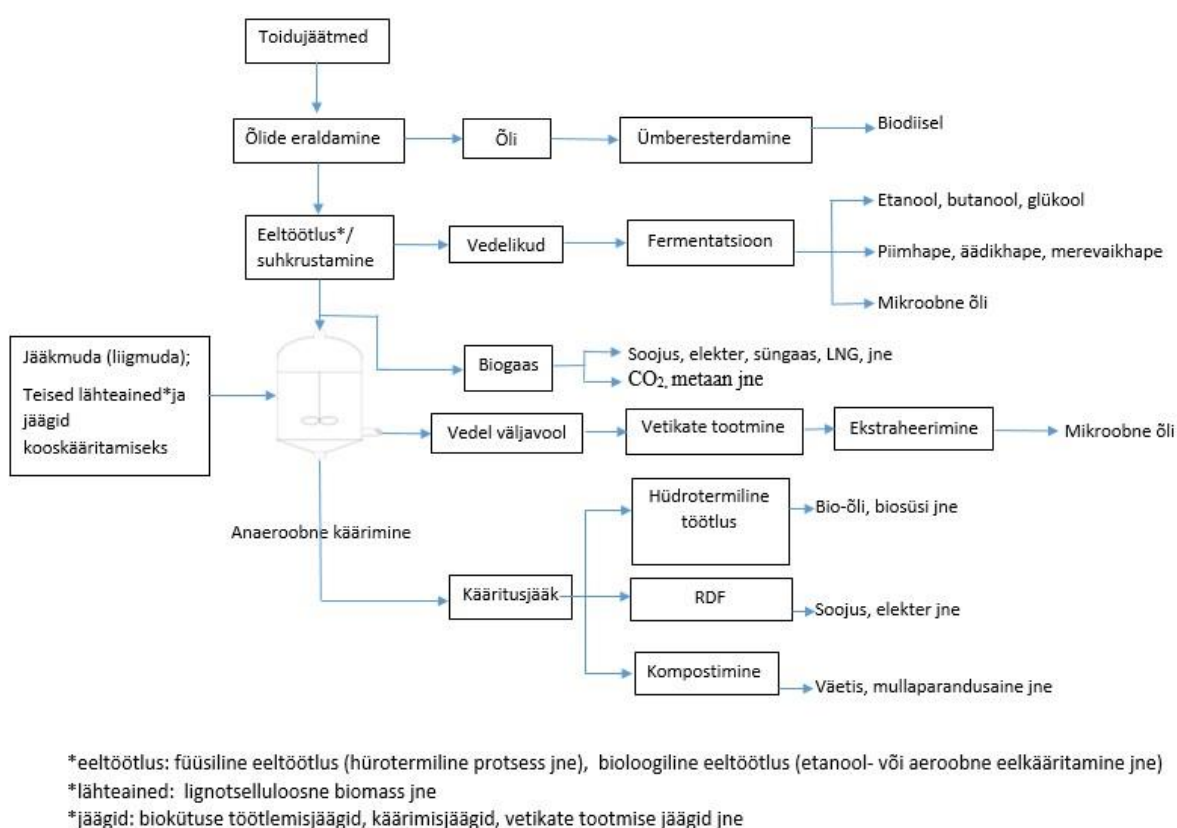
Biogaasi oluliseks osaks on energiarikas biometaan. Biometaani sisaldus biogaasis sõltub jäätmete lagundatavusest ja oksüdatsiooniastmest. Mida parem on jäätmete lagunduvus ja madalam oksüdatsiooniaste, seda rohkem metaani tekib. Jäätmed, mis lagunevad kiiremini toodavad metaani rohkem (Angelidaki *et al* 2011).

## **1.2.2 Biogaasi tootmine**

Anaeroobne kääritamine on üks osa majanduslikust ringsüsteemist, mis annab meile võimaluse maksimaalselt jäätmeid väärandada ning toota jäätmetest taaskasutatavat toodangut (Kask 2020). Jäätmeid püütakse võimalikult maksimaalselt väärandada ning biogaasi tootmine võib olla üks osa suuremast süsteemist, mida kasutatakse

biorafineerimisel (Joonis 2, Rena *et al* 2018). Biorafineerimine on üks võimalik viis toota biomassist erinevate ja omavahel integreeritud tehnoloogiliste lahenduste abil kütuseid, energiat ja kemikaale (Estonian Bioenergy 2021).

Kui vaadata protsentuaalselt maailma mastaabis, kus on kõige suurem potentsiaal biogaasi tootmisel anaeroobse kääritamise teel, siis selleks on põllumajanduskultuurid, nende kõrvalsaadused ja sõnnik, kus potentsiaal on 75%. Järgmisel kohal on kohalikud- ja tööstuslikud jäätmed, mille potentsiaal on 17% ning seejärel reovesi, 8% (Kask 2020).



**Joonis 2.** Anaeroobse käärimisprotsessi integreerimine teiste jäätmekäitlusprotsessidega (Rena *et al* 2018).

Biogaasi tootmiseks anaeroobse kääritamise teel on olemas erinevaid tehnoloogilisi lahendusi ning seadmeid (Biogaasi tootmine...2009). Biogaasi tootmist mõjutavad: käärimistemperatuur, kääritis viibimise aeg, substraadi kontsentratsioon, segamine kääritis ja pH väärtus (Kask 2020). Tabelis 1 on toodud biogaasi tootmistehnoloogiate jaotus erinevate kriteeriumite alusel.

Põllumajanduslikes biogaasijaamades kasutatakse näiteks ühe- ja kaheastmelisi protsesse. Peamine erinevus seisneb protsesside läbiviimises mahutites. Üheastmelises protsessis

kasutatakse ühte mahutit st hüdroolüüs, hapete moodustumine, äädikhappe ja metaani teke toimub ühes mahutis. Kaheastmelises protsessis on faasid üksteisest eraldatud. See tähendab, et ühes mahutis toimub hüdroolüüs ja hapete moodustumine ning teises mahutis äädikhappe ja metaani tekkimine (Biogaasi tootmine...2009).

Biogaasi tootmise käigus on oluline, et käärimisprotsessi käigus oleks tagatud bakteritele võimalikult sobiv ja ühtlane temperatuurivahemik, kuna liiga madalate temperatuuride korral metaanibakterite elutegevus pidurdub. Temperatuurid võivad ajas ja ruumis muutuda, kuid nad ei tohi määratud temperatuurivahemikust väljuda (Biogaasi tootmine...2009).

Bakterid jagunevad optimaalse temperatuurivahemiku järgi kolmeks: psührofiilsed, mesofiilsed ja termofiilsed (Biogaasi tootmine...2009). Anaeroobsel kääritamisel saab biometaan tekkida mesofiilses temperatuurivahemikus 32–42°C (Biogaasi tootmine...2009) ja termofiilses temperatuurivahemikus 55–65°C (Menert *et al* 2005). Mõlema temperatuurivahemiku tagamiseks on vajalik käärituskambri kütmine, kuna bakterid ise ei suuda toota vajalikku soojust (Biogaasi tootmine...2009).

Biogaasi tootmisel saavutatakse kõrgeim metaani sisaldus, kui fermenteeritud orgaanilise aine temperatuur on vahemikus 32–35°C ehk mesofiilses temperatuurivahemikus (Ehitusportaal 2021). Kui temperatuur on mesofiilsest temperatuurivahemikust madalam või kõrgem, siis suureneb biogaasis süsinikdioksiidi sisaldus ja biogaasi kvaliteet langeb (Ehitusportaal 2021). Mesofiilses temperatuurivahemikus elab kõige rohkem metaani tootvatest bakteritest, gaasi teke on kõrge ning on seetõttu kõige laialdasemalt kasutust leidnud (Biogaasi tootmine...2009, Angelidaki *et al* 2011). Mesofiilses temperatuurivahemikus töötab 85% põllumajanduslikest biogaasijaamadest (Biogaasi tootmine...2009).

Termofiilses temperatuurivahemikus on biogaasi tootlikkus mesofiilsest temperatuurivahemikust kiirem, koguseliselt suurem ja hävivad enamus haigustekitajad, kuid protsess nõuab suuremat energiahulka (Menert *et al* 2005). Termofiilset temperatuurivahemikku soovitatakse kasutada, kui on eesmärk puhastada substraat võimalikest tervist kahjustavatest haigusetekitajatest või substraadi enda temperatuur on kõrge (Biogaasi tootmine...2009).

Biogaasi tootmiseks saab kasutada märg- või kuivkääritusmeetodit (Weiland 2010). Kuivkääritamisel saadud mass ei ole pumbatav, kuna on mõeldud mittevoolavatele ainetele. Kuivkääritamismeetodid on näiteks: konteinermeetod, boksi- või garaažimeetod, kiletorumeetod, vann- ehk tunnelmeetod ja kompogas-meetod. Kuivkääritusel peab tahke aine sisaldus kääritis olema 20–40% (Biogaasi tootmine...2009). Oluline on kääritava massi pidev segamine selleks, et gaasi tootlikkus oleks ühtlane ning see pääseks massist välja (Kriipsalu *et al* 2016). Kõige enam on levinud märgkääritus, mida kasutatakse põllumajanduslikes biogaasijaamades (Biogaasi tootmine...2009). Märgkääritatud materjal on pumbatav ja seda võib otse põllule laotada. Kääritamismahuti täitmisviis sõltub sellest, kui palju vajavad mikroorganismid substraadist toitaineid. Näiteks kasutatakse kuivkääritamisel tsüklilist täitmist.

**Tabel 1.** Biogaasi tootmistehnoloogiad ja kriteeriumid (Biogaasi tootmine...2009)

Kriteerium	Tehnoloogia
Protsessi etappide arv	Üheetapiline (astmeline) Kaheetapiline Kolmeetapiline
Protsessi temperatuur	Psührofiilne Mesofiilne Termofiilne
Kääriti täitmisviis	Katkev täitmine (perioodiline, tsükliline) Osaliselt katkev (pooltsükliline) Katkematu (pidev)
Substraadi kuivaine sisaldus	Märgkääritamine Kuivkääritamine

Transpordisektoris domineerivad tänapäeval selgelt fossiilsed kütused ning nende asendamiseks taastuvenergiast saadud kütustega pälvib üha rohkem teadlaste tähelepanu alternatiivina biogaasi tootmine anaeroobse kääritamise teel (Mao *et al* 2015). See annab võimaluse jäätmekäitlusettevõtetele väärtustada materjali, mis muidu leiaks oma tee prügilasse ladestatuna (Kriipsalu *et al* 2016). Biogaasi tootmine anaeroobse lagundamise teel põllumajandusjäätmetest, tööstusjäätmetest, olmejäätmetest ja reoveesetetest on muutunud atraktiivseks taastuvenergia allikaks (Scarlat *et al* 2018). Biogaasi tootmine on oluline, kuna bioenergia on hinnanguliselt suuruselt neljas energiaressurss ning on neutraalne fossiilsete kütuste asendaja (Mao *et al* 2015).

Biogaasi on võimalik toota loomsetest (sõnnik, läga) ja taimsetest jäätmetest (lehed, varred, rohhtaime biomass jne), toidujäätmetest, paberijäätmetest, reoveesetetest ja teistest

biolagunevatest jäätmetest (Nicholas *et al* 2013). Biogaasi tekib soodes, rabades ja prügilates (Eesti Biogaasi Assotsiatsioon).

Biogaasi tootlikkust saab oluliselt suurendada mitme tooraine kooskääritamisel (*co-digestion*) (Bharathiraja *et al* 2018). Kooskääritamisega saab reguleerida jäätmete süsiniku ja lämmastiku suhet ning veesisaldust, mis tagab parema gaasitootmise (Rena *et al* 2018). Näiteks soovitatakse lisada energiakultuuridele sea või lehma sõnnikut, kuna see suurendab metaani tootlikkust (Korres *et al* 2017).

Biogaasi saab kasutada soojus- ja elektrienergia tootmiseks või mootorikütuseks (Scarlat 2018). Puhastatud biogaasi, mis sisaldab 96–99% metaani, nimetatakse biometaaniks. Kuna biometaan on kõrge kütteväärtusega, mis sarnaneb maagaasi kütteväärtusele, siis on biometaan kasutatav kõikjal, kus maagaasi (Eesti Biogaasi Assotsiatsioon).

Toidujäätmetel on suur potentsiaal toota taastuvenergiat biogaasi näol (Ren *et al* 2018). Arvestades asjaolu, et kogu maailmas on toidujäätmete kogus kasvanud märkimisväärselt ning paljud neist jäätmetest on kasutamata, on toidujäätmetest biogaasi tootmine energia tarbeks hea alternatiiv fossiilsetele kütustele (Kafle 2012).

### **1.3 Biogaasi ja biometaani tootmine Eestis**

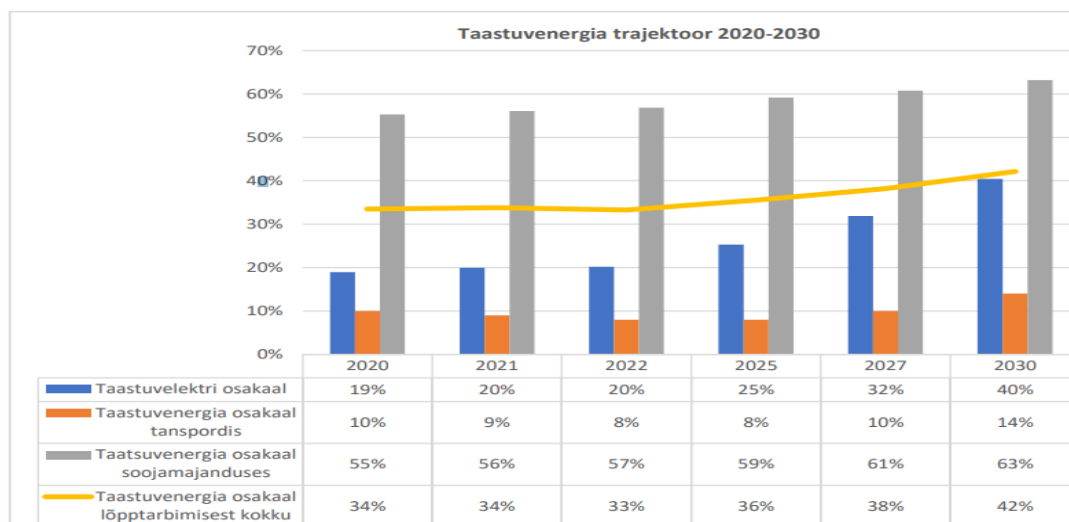
Eestil oli vastavalt Euroopa direktiivile (EÜ nr 2009/28 lisa 1) kohustus tagada, et aastaks 2020 moodustaks taastuvatest energiaallikatest toodetud energia 25%. Juba 2016. aasta seisuga suutis Eesti toota 28,83% energiast taastuvatest allikatest (Riigi üldine...2018). Kogu 2020 aasta vältel toodeti taastuvenergiast 46,4% energiat, mis kattis 25% meie tarbimisest. Eesti elektrijaamad tootsid 2020. aastal 15 protsenti rohkem elektrit taastuvatest energiaallikatest võrreldes 2019. aastaga. Taastuvenergia allikana saadi 56% biomassist, biogaasist ja jäätmetest, 37% tuuleenergiast ning ülejäänud moodustas hüdro- ja päikeseenergia (Elering 2021a).

Aastal 2017 pandi vedelkütuse seadusega kütuse tarnijatele kohustus tagada, et tarbimisse saadetud kütuseliiter sisaldaks energiamahu järgi kindlas koguses biokütust ning biokütuse osakaal pidi aastatega suurenema. 2018. aastal seati nõudeks saavutada transpordisektoris biokütuse osakaal 3,1%, 2019. aastaks 6,4% (Annus *et al* 2019) ning aastaks 2020 pidi Eesti tagama, et tarbitavast transpordikütusest moodustuks 10% taastuvatest energiaallikatest

(Riigi üldine...2018). Eestis on võetud eesmärgiks kasutada aastaks 2030 transpordis 14% taastuvkütuseid (Eesti riiklik...2019), millest osa on plaanis katta biometaaniga. Aastaks 2030 peab taastuvenergia osakaal moodustama 32% energia lõpptarbimisest (Eesti riiklik...2019). Eeldatav taastuvenergia osakaal transpordisektoris aastatel 2020–2030 on kajastatud joonisel 3.

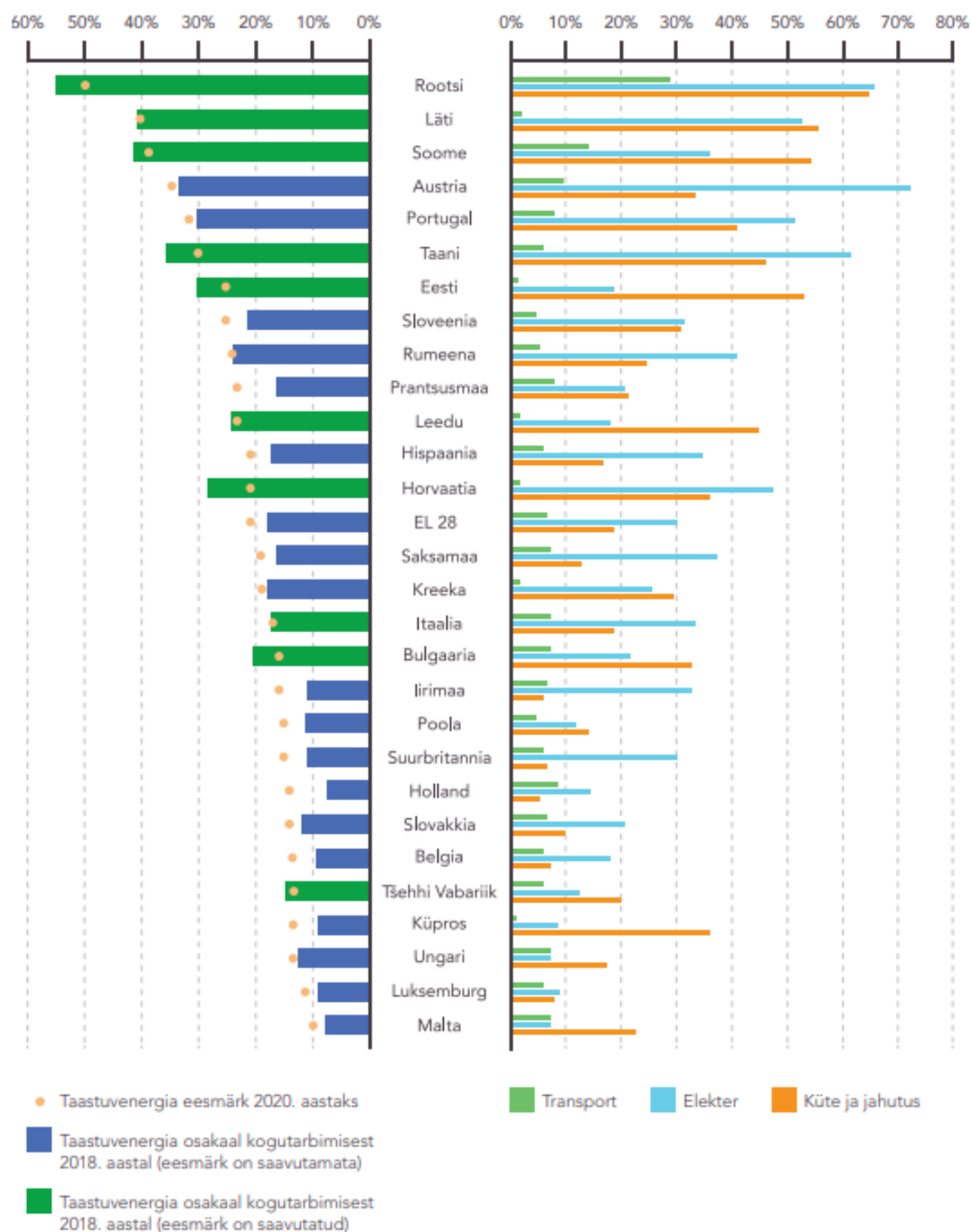
Euroopa direktiivi täitmiseks saame kasutada alternatiivina kolme peamist taastuvenergia allikat: nn roheline elektrienergia, vesinik ja biokütused (Reiska s.a).

Eestis oli taastuvatest energiaallikatest toodetud energia osakaal transpordisektoris aastal 2016 alla 2% (Eurostat 2019) ning 2018 aasta seisuga 3,3% (Annus *et al* 2019). Kokku oli Eestis 2018. aastal biogaasi osakaal transpordisektoris 0,4% (Annus *et al* 2019).



**Joonis 3.** Eesti taastuvenergia prognoositav osakaal aastani 2030 (Eesti riiklik...2019).

Joonisel 4 on toodud erinevate riikide taastuvenergia eesmärgid ja nende täitmine. Eurostati andmetel on 10% taastuvenergia nõude transpordisektoris Euroopa Liidu liikmesriikidest suutnud saavutada ainult Rootsi ja Soome (Annus *et al* 2019).



**Joonis 4.** Taastuvenergia eesmärk ja riikide saavutused 2018. aastaks (Annus *et al* 2019).



Alates 2018. aastast saavad biometaani tootjad taotlema biometaani tarne eest riigilt toetust, mida rahastatakse CO<sub>2</sub>-kvoodi enampakkumise müügituludest (Riigi üldine...2018). Eestis on rajatud transpordisektori jaoks surugaasi tanklad, kus saab tankida biometaani, kuid üleminek taastuvatele energiaallikatele on keeruline (Elering 2021c).

Eestis töötas 2020. a. IV kvartali seisuga 17 biogaasijaama, mis toodavad peamiselt soojust –ja/või elektrienergiat ja kaks biometaanijaama (Eesti Biogaasi Assotsiatsiooni 2021). Eestis toodeti 2020. aastal kokku 97 408 MWh biometaani, mida kasutati transpordisektoris. Biometaanist 50 834 MWh toodeti reoveesetest ning 12 246 MWh sõnnikust ja biomassist. Biometaani tooraineks olid reoveesete, loomne sõnnik, biomass, biojätmed ning toiduainetööstuse jäägid (Elering 2021b).

Põllumajanduslikel sisenditel töötavad biogaasijaamad Eestis:

- Aravete Biogaas OÜ
- Oisu Biogaas OÜ
- Biometaan OÜ – toodab biometaani
- Vinni Biogaas OÜ – toodab biometaani
- Tartu Biogaas OÜ – toodab biometaani

Tööstusreovee käitlusjaamad, mis toodavad biogaasi:

- Eastman Specialties OÜ
- Salutaguse Pärmitehas
- Estonian Cell AS – toodab biometaani

Reoveemuda baasil töötavad biogaasijaamad:

- Tallinna Vesi AS
- Kuressaare Veevärk AS (Kullimäe)
- Narva Vesi AS
- Tartu Vesi AS

Prügilagaasi tootmine prügilates:

- Paikre OÜ e. Rääma prügila (Pärnu, Raba prügila)
- Tallinna Prügilagaas OÜ (Jõelähtme prügila)
- Uikala Prügila AS (Uikala prügila)
- Väätsa prügila

Biogaasi tootmine Eestis on veel arengujärgus. Arengut pidurdab peamiselt see, et asume parasvöötme kliimas ning meil on liiga külm (Kriipsalu *et al* 2016). Biomassiks sobivat

materjali saab koguda kasutamata maadelt, energiakultuuridelt ja poollooduslikelt kooslustelt (Elering 2021d). Tihti asuvad need alad hajutatult ning biomassi kokku kogumine ja transport võib kujuneda kulukaks ning majanduslikult mitte tasuvaks (Elering 2021c). Biogaasi tekib ka prügilates, kuid sealne gaas ei ole taastuenergia allikana perspektiivikas. Seda peamiselt seetõttu, et prügilagaas on keskkonnakahjulik, kuna põhjustab kasvuhoone nähtust ja metaani mõju on võrreldes süsihappegaasiga 21 korda tugevam. Kõrge metaani sisalduse tõttu saab prügilagaasi kasutada kütteks või elektrienergia tootmiseks (Kriipsalu *et al* 2016).

Selleks, et biogaasi saaks transpordisektoris kasutada, on vaja seda eelnevalt puhastada. See tähendab, et töötlemata biogaas muudetakse puhtaks biometaaniks. Eestis alustas biometaanitootmist reoveesettest 2018. aasta aprillis Lääne-Viru maakonnas Kundas ettevõtte Rohegaas OÜ. Sama aasta juulis hakkas sõnnikust ja biomassist biometaanitootma Viljandi maakonnas Koksveres asuv ettevõtte Biometaan OÜ (Elering 2021c). Biometaanitootvate biogaasijaamade arv on viimastel aastatel suurenenud.

2021. aasta märtsi seisuga on üle Eesti 23 tanklat, kes müüvad biometaanit, mida kasutavad suruõhugaasil töötavad autod nii puhtal kujul, kui ka segatuna maagaasiga (Metaankütused 2021).

Biometaanitootmise potentsiaaliks Eestis on hinnatud 450 mln m<sup>3</sup> /a, mis on rohkem kui pool Eesti maagaasi tarbimisest viimastel aastatel (Eesti riiklik...2019). Kõige perspektiivikamaks toormeks on rohtne biomass, mis pärineb põllumajandusmaadelt (375 mln Nm<sup>3</sup> /a), kuid potentsiaali on ka põllumajandustootmise jääkidel (44 mln Nm<sup>3</sup> /a), tööstusprotsesside jäätmetel (17 mln Nm<sup>3</sup> /a), prügilagaasil (9 mln Nm<sup>3</sup> /a) ja muudel jäätmetel (5 mln Nm<sup>3</sup> /a) (Elering 2021c).

## **1.4 Biogaasi tootmine kalajäätmetest**

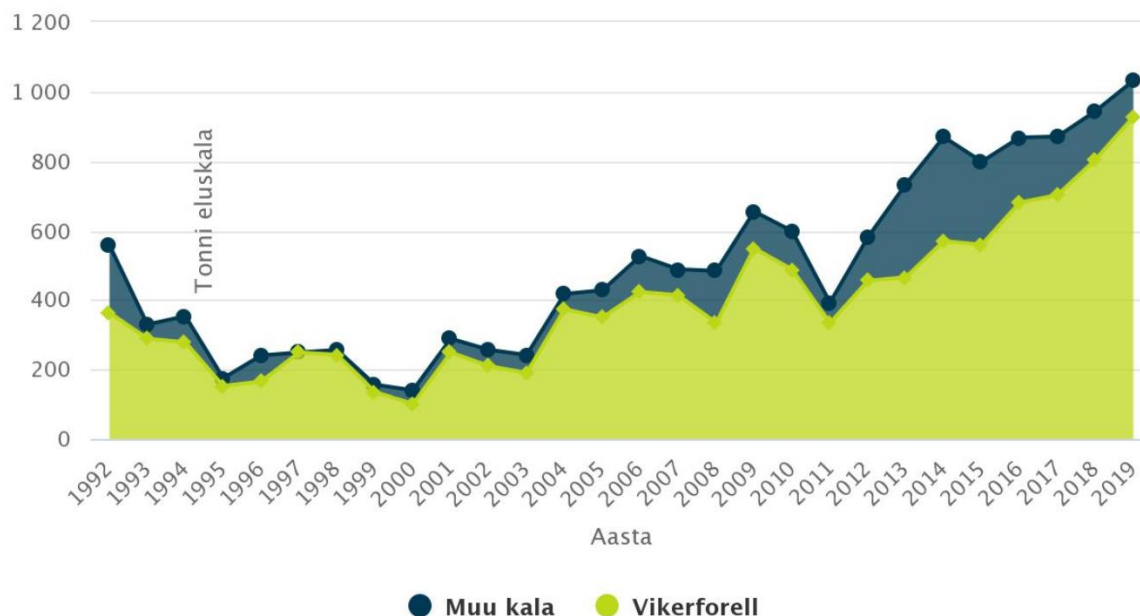
### **1.4.1 Püütud ja müüdud kalade kogused Eestis**

Eestis on 2021. aasta veebruari kuu seisuga 103 tegevusloaga töötlemisüksust, kus toimub kala töötlemine ja kalatoodete valmistamine. Põhiline tegevus on kalatöötlemises kala

külmutamine, fileerimine, kalakonservide ja –preservide ning valmistoitude tootmine (Maaeluministeerium 2021).

2019. aasta jooksul müüsid kalakasvatusettevõtted Eestis 1062 tonni kaubakala ja -vähki, mis oli viimase 28 aasta suurim müüdav kogus. Vikereforell on Eestis enim kasvatatud ja müüdud kalaliik, kuid lisaks vikereforellile kasvatatakse ja müüakse veel ka linaskit, angerjat, aafrika angersäga, karpkala, säga, tuurlasi, valgeamuuri jt. 2014. aastal müüdi Eestis 569,6 tonni vikereforelli ja 299,4 tonni muid kalaliike. Aastal 2019 oli müüdav vikereforelli kogus 927 tonni ja muu kala kogus 104,3 tonni. Seega, kui 2014. aastal oli Eestis kasvatatud vikereforelli osakaal kogu müüdud kalatoodangus 66%, siis 2019. aastal oli see üle 85%. Vaadates kalakasvatusettevõtete poolt müüdavaid kalakoguseid aastate lõikes on kala tarbimine viimastel aastatel oluliselt suurenenud. Joonisel 5 on toodud ajavahemikus 1992-2019 müüdud kalakogused aastate lõikes, mis pärinevad Eesti kalakasvandustest ning on näha, et viimase kümne aasta jooksul on kalakasvatusettevõtete müüdud kala kogus suurenenud ligikaudu neli korda (Kalakasvatusettevõtted... 2021).

Müüdud vikereforell ja muud kalad, 1992–2019



**Joonis 5.** Eestis aastatel 1992–2019 müüdud kalade kogused (Kalakasvatusettevõtted...2020).

2020. aastal püüti Liivi lahest, Soome lahest ja Läänemerest rannakalurite poolt kokku 10495,952 tonni kalu. Kutselised kalurid püüdsid siseveekogudest kokku 3615,184 tonni

kalu. Läänemerest püüdsid kutselised kalurid 45270,896 tonni kalu ning kaugpüügina püüti Atlandi ookeanist 14893,071 tonni kalu (Püügistatistika 2021). Ookeanist püüti atlandi turska, harilikku karelesta, krevette, meriahvenat ja süvalesta. Läänemerest ahvenat, kilu, räime ja muud kala ning sisevetel ahvenat, koha, latikat, särge, nurgu ja räabist (Kalandus 2021).

#### 1.4.2 Kalajäätmed

Mereandide töötlemisel tekkinud jäätmete käitlemine on ülemaailmne probleem (Ivanovs *et al* 2018). Viimase 45 aasta jooksul on maailmas suurenenud nõudlus kalatoodete järele ning sellest on saanud toidusektoris üha kiiremini kasvavaid trende (Carvalho *et al* 2014). Kuna kala tarbimine on ülemaailmselt kasvav trend ning elanikkonna seas atraktiivsemaks muutunud, siis tekib ka kala tarbimise suurenemise tõttu tööstustes rohkem kalajäätmeid (Kafle 2012). Kasvavat trendi kinnitab ka eelpool toodud joonis 5. Ligikaudu 81% kogu kalatoodangust läheb otsetarbimisse ja 15% (17 miljonit tonni) sellest töötlevad konservitööstused. Kalatooted, mis ei kõlba toiduks tehakse kalajahuks või kalaõliks (Carvalho *et al* 2014).

Nii merest, kui ka sisemaalt pärit kala moodustab umbes 55% kogu maailma kalatoodangust, ning ülejäänud 45% moodustab vesiviljelus. Ligikaudu 70% püütud kalakogusest on enne müümist töödeldud ning kalajäätmed moodustavad püütud kalakogusest 20 – 80% (Ivanovs *et al* 2018). Kalajäätmed koosnevad peamiselt luudest, siseelunditest, soomustest (Kafle 2012), uimedest, kalapeast ja rümpadest (Ivanovs *et al* 2018). Kala töötlemisel tekkivad kalajäätmeid on vaja keskkonnasõbralikult käidelda ning ühe võimaliku lahendusena saab kalajäätmetest toota biogaasi ja biometaani.

Varasemad uuringud on näidanud, et kalajäätmete anaeroobsel kääritamisel ja kooskääritusel (*co-digestion*) on märkimisväärne potentsiaal biometaani tootmiseks (Ivanovs *et al* 2018). Ühest tonnist bioloogiliselt töödeldud biojäätmetest saab toota 100–200 m<sup>3</sup> biogaasi (Roheline raamat 2008). Võrtsjärve peenkala uuringu „Väheväärtusliku peenkala väärimine“ kohaselt saab kalast toota kaks korda rohkem biogaasi, kui lägast, sõnnikust või reoveesetest (Väheväärtusliku peenkala...2020).

Peenkala on kala, mida ei müüda inimtoiduks, kuna see ei ole tulus. Peenkala arvukus Võrtsjärves suureneb aastast aastasse aina kiiremini, kuna kala on väike ja seetõttu vähem

väärtuslik ning inimesed ei soovi seda kala osta. See aga viib omakorda mõrrapüügilt saadud kaubakala hinna alla, kuna koguseliselt tekib peenkala mõrda sama palju kui kaubakala (Reporter 2021). Kalade sorteerimine on aga väga aeganõudev tegevus ning madal hind on peamine põhjus, miks kaluritel ei ole huvi peenkala sorteerida ja kaldale tuua (Väheväärtusliku peenkala... 2020). Peenkala hulka kuuluvad Võrtsjärves täispikkuses < 34 cm latikad, < 27 cm hõbekogred ning < 16 cm pikkused ahvenad (Ääremõrraga seirepüükide...2020). Peenkalale, kellele on kehtestatud mõõt, kehtivad ka kaalulised tüki piirangud järgnevalt: latikas ja hõbekoger kuni 500g, ahven kuni 70 g (Väheväärtusliku peenkala... 2020). Lisaks kuuluvad olenemata kalade pikkusest ja kaalust peenkalade hulka särg, roosärg, nurg, kiisk ning viidikas (Ääremõrraga seirepüükide...2020).

Suletud kalakasvatustes tekivad vee põhja kalasetted (*fish sludge*), mis pärinevad kaladele antavast söödast (Nofima 2016). Kalasetted sisaldavad rohkesti lipiide ja valke, mis on head metaani tootmiseks anaeroobses keskkonnas (Kafle 2012). Portugalis uuriti, milline on kalasetete potentsiaal metaani tootmisel, anaeroobse käärituse teel mesofiilsel temperatuuril ning katsete tulemused näitasid kõrget metaani tootlust. Kalasetetest toodetava biogaasi metaanisaldus stabiliseerus mõne päevaga ning mõõtmistulemuste keskmisi väärtusi hinnates jõuti tulemuseni, et metaani (CH<sub>4</sub>) sisaldus kalasetetest toodetud biogaasis on 67%. Need on head tulemused, kuna tavaliselt loetakse heaks tulemuseks, kui kalasetete metaani sisaldus jääb vahemiku 65-70% (Carvalho et al 2014).

#### **1.4.2 Kalajäätmete käitlemise nõuded biogaasi tootmisel**

Eestis liigitatakse jäätmed jäätmeseadus § 2 lg 5 alusel vastu võetud määruse „Jäätmete liigitamise kord ja jäätmenimistu<sup>1</sup>“ alusel ohtlikeks jäätmeteks ja tavajäätmeteks (Jäätmete liigitamise...§ 3). Jäätmeliigid on jäätmenimistus määratud kuuekohaliste koodinumbritega ning kahe- ja neljakohaliste jäätmenimistu jaotiste ja alajaotiste koodinumbritega, mis tähistavad kolme liigitustasandit (Jäätmete liigitamise...§ 4). Nimetatud määruse lisas on jäätmenimistu, mis sätestab, et liha, kala ja muude loomsete toiduainete valmistamisel ja töötlemisel tekkinud jäätmed liigituvad koodi alla algusega 02 02. Kui tegu on loomsete kudede jäätmetega, siis lisatakse lõppu 02 ehk rakendatakse koodi 02 02 02. Kui kalajäätmed on tarbimis- või töötlemiskõlbmatud, siis kasutatakse jäätmekoodi 02 02 03 (Jäätmete liigitamise...lisa).

Jäätmeseaduse §-i 21 järgi lakkavad jäätmed olemast jäätmed, kui need on läbinud taaskasutamistoimingu või saadetud uuesti ringlusse ehk muutuvad taas tooteks, kuid sellisel juhul peavad olema täidetud Euroopa Parlamendi ja nõukogu direktiivi 2008/98/EÜ artikli 6 lõike 2 alusel kehtestatud kriteeriumid (Jäätmeseadus § 21 lg 1). Nõuded jäätmekäitlejatele ja jäätmete valdajatele on kehtestatud eelkõige seetõttu, et jäätmetega seotud kõrvõimalikud riskid meie tervisele ja keskkonnale oleksid minimaalsed.

Kalajäätmed klassifitseeruvad loomsete saaduste alla ning neid peetakse kolmanda kategooria loomseteks kõrvalsaadusteks. Euroopa Parlamendi ja nõukogu määruse nr 1069/2009 artikli 3 punkti 1 kohaselt on loomsed kõrvalsaadused loomade terved kehad või nende osad, loomsed saadused või muud loomset päritolu saadused, mis ei ole ette nähtud inimtoiduks (EÜ nr 1069/2009).

Loomsete kõrvalsaaduste ja nende töötlemisel saadud toodete käitlemine peab toimuma vastavalt Euroopa Parlamendi ja nõukogu määruse (EÜ) nr 1069/2009 ja Euroopa Komisjoni määruse (EL) nr 142/2011 nõuetele. Nimetatud määruste nõuete kohaselt peavad kõrvalsaaduste tekkimisest alates toimuma ka nende kogumine, transportimine, käitlemine, kasutamine ja kõrvaldamine. 3. kategooria loomseid kõrvalsaadusi tohib kõrvaldada põletamise teel tunnustatud põletusrajatistes, töödelda tunnustatud töötlemisettevõttes, komposteerida, töödelda biogaasiks ja kasutada toore lemmikloomatoidu tootmiseks (Loomsete...2021). 3. kategooria loomsete kõrvalsaaduste töötlemisel saadud tooteid võib selleks tunnustatud ettevõtetes põletada, kasutada orgaaniliste väetiste või mullaparandusainete tootmiseks, kasutada põllumajandusloomade sööda või lemmikloomatoidu tootmiseks ning ladestada tunnustatud prügilasse (Loomsete...2021).

Euroopa Parlamendi ja nõukogu määruse nr 1069/2009 artikkel 24 punkt 1 alapunktid d ja g sätestavad, et ettevõtjad peavad tagama, et nende kontrollitavad ettevõtted on pädeva asutuse poolt tunnustatud, kui tegelevad loomsete kõrvalsaaduste või nendest saadud toodete kasutamisega kütusena ning loomsete kõrvalsaaduste ja/või nendest saadud toodete töötlemisega biogaasiks või kompostiks (EÜ nr 1069/2009). Loomseid kõrvalsaadusi ja neist saadud tooteid käitlevate ettevõtete üle teostab Eestis pädeva asutusena järelevalvet Põllumajandus- ja Toiduamet. Loomsete kõrvalsaaduste või neist saadud toodete käitlemisest on Eestis kohustus teatada Põllumajandus- ja Toiduametit vastava majandustegevusteatega ning tegutsemiseks peavad ettevõtted saama ameti poolt spetsiaalse

tegevusloa. Loomseid kõrvalsaadusi käitlev biogaasijaam peab olema Põllumajandus- ja Toidumeti poolt tunnustatud. (Loomsete...2021).

Loomsete kõrvalsaaduste ja nendest saadud toodete biogaasiks muundamise ja kompostimise kohta kehtivad kindlad nõuded. Nõuded biogaasi- ja kompostijaamadele sätestatakse Euroopa Parlamendi ja nõukogu määruses nr 1069/2009 lisa V (EL nr 142/2011, artikkel 10). Kui biolagunevad jäätmed sisaldavad loomseteks kõrvalsaadusteks klassifitseeruvaid jäätmeid, peab need biogaasistama selleks ette nähtud ja tunnustatud biogaasijaamas (Nõuded biolagunevatest...§ 6).

Biogaasijaamadel peab loomsete kõrvalsaaduste käitlemiseks olema pastöriseerimise/hügieeniliseks muutmise seade. 3. kategooria materjal peab vastama järgmistele miinimumnõuetele: osakeste maksimaalne suurus enne seadmesse panekut 12 mm, miinimumtemperatuur seadmes 70 °C ja minimaalne töötlemiseaeg ilma katkestusteta 60 minutit.

Pastöriseerimise ja hügieeniliseks muutmised seadmel peavad olema:

- jälgimisseadised, millega saab kindlaks teha, et temperatuur on tunni aja jooksul 70 °C;
- salvestusseadmed alampunktis a osutatud mõõtetulemuste pidevaks registreerimiseks ning
- süsteem, mis hoiab ära ebapiisava kuumutamise (EL nr 142/2011, lisa V).

Erandid, millal ei ole pastöriseerimise/hügieeniliseks muutmise seade biogaasijaamas kohustuslik on toodud Euroopa Komisjoni määruse nr 142/2011 V lisa esimese peatüki esimeses jaos punktis 2 (EL nr 142/2011, lisa V). Pastöriseerimise/hügieeniliseks muutmise seade ei ole kohustuslik biogaasijaamas, mis muundab ainult:

- a) 2. kategooria materjali, mida on töödeldud IV lisa III peatükis sätestatud 1. töötlemismeetodi järgi;
- b) 3. kategooria materjali, mida on töödeldud IV lisa III peatükis sätestatud 1., 2., 3., 4., 5. või 7. töötlemismeetodi järgi, või veeloomadest saadud materjali, mida on töödeldud samas nimetatud 1., 2., 3., 4., 5., 6. või 7. töötlemismeetodi järgi;

- c) 3. kategooria materjali, mis on läbinud pastöriseerimise või hügieeniliseks muutmise teises tunnustatud ettevõttes;
- d) loomseid kõrvalsaadusi, mida võib kasutada toorainena käesoleva määruse ja määruse (EÜ) nr 1069/2009 artikli 13 punkti e alapunkti ii kohaselt töötlemata;
- e) loomseid kõrvalsaadusi, mis on läbinud leeliselise hüdrolyüsi, mis on sätestatud IV lisa IV peatüki 2. jao punktis A;
- f) alljärgnevaid loomseid kõrvalsaadusi, kui selleks on saadud pädevalt asutuselt luba:
  - i) määruse (EÜ) nr 1069/2009 artikli 10 punktis f osutatud loomsed kõrvalsaadused, mis on töödeldud vastavalt määruse (EÜ) nr 852/2004 artikli 2 lõike 1 punktile m, kui see on mõeldud kasutamiseks muul otstarbel kui inimtoiduks;
  - ii) määruse (EÜ) nr 1069/2009 artikli 10 punktis g osutatud loomsed kõrvalsaadused; või
  - iii) loomsed kõrvalsaadused, mis muundatakse biogaasiks, kui käärimisjääd seeläbi kompostitakse või töödeldakse või kõrvaldatakse kooskõlas käesoleva määrusega (EL nr 142/2011, lisa V).

Tunnustatud biogaasi jaamas peab olema juurutatud enesekontrolli plaan, tuleb tagada üldiste hügieeninõuete täitmine, tuleb tagada jälgitavus. Biogaasi tootmisel tekkiv käärimisjääd peab vastama rangetele mikrobioloogilistele nõuetele. Käärimisjäät analüüsitakse, et kontrollida kolibakterite või enterokokkide normidele vastavust. Lisaks ladustamisel või enne biogaasijaamast väljumist käärimisjääd võetud proovis ei tohi esineda *Salmonella* spp-d (Loomsete...2021).

Biolagunevatest jäätmetest tootena käsitletava käärimisjäät saamiseks sätestab nõuded keskkonnaministri määrus nr 12 „Nõuded biolagunevatest jäätmetest biogaasi tootmisel tekkiva käärimisjäät kohta“. Määrusega kehtestatakse nõuded kasutava tooraine osas, kehtestatakse nõuded biogaasi tootmisprotsessile ning käärimisjäät ohutus- ja kvaliteedinäitajad.



## 2. MATERJAL JA METOODIKA

### 2.1. Uuritud proovid

Katsetes analüüsiti kalade ja kalatöötlemise jäätmete biogaasi ja biometaanitootlikkust. Proovide kohta annab ülevaate tabel 2. Andmete analüüsimisel rühmitati kalajäätmed kolmeks: kala töötlemisjäätmed (latika nahk, ahven nahata, kalatööstuse fileerimisjäätmed, vikerforelli sisikond), kalad (latikas, koger, peenkala, vikerforell) ja angerjasõnnik (angerjasõnnik 1 ja 2).

**Tabel 2.** Uuritud proovid

Proov	Päritolu	Kogumise kuupäev
Latika nahk	Peipsi järv	12.02.2021
Ahven nahata	Peipsi järv	12.02.2021
Latika fileerimisjäätmed	Peipsi kalatööstus	16.02.2021
Vikerforelli sisikond	Härjanurme kalakasvatus	05.03.2021
Peenkala	Võrtsjärv	20.02.2019
Latikas	Võrtsjärv	18.02.2021
Koger	Võrtsjärv	18.02.2021
Vikerforell	Härjanurme kalakasvatus	05.03.2021
Angerja sõnnik 1	Viiratsi angerjafarm	04.03.2021
Angerja sõnnik 2	Viiratsi angerjafarm	14.05.2020
Seenesubstraat	Seenekasvatus	November 2020
Putukasõnnik	Eesti Maaülikool	20.12.2020

Latikas ja koger on saadud teaduspüügi väljapüügina ning olid 200 g raskemad, kui näevad ette peenkala kriteeriumid (500 g). Tinglikult käsitletakse neid töös kui toiduks mittesobivat kala. 2019. aastast oli olemas külmutatud peenkala (erinevate peenkalade segu), mille luude osakaal oli võrreldes proovina kasutaud latika ja kogrega suurem. Vikerforelli puhul oli tegemist kasvatuses hukkunud kalaga.

Lisaks kaladele ja kalajäätmetele analüüsiti võrdluseks seenesubstraadi ja putukasõnniku biogaasitootlikkust. Seenesubstraat saadi seenekasvatusest ning see on seenekasvatuse jääk. Seenesubstraat koosnes lehtpuu saepurust ja veidi oli lisatud nisukliid ning seejärel pandud kasvama seened. Määrati pärast seente eemaldamist alles jäänud seenesubstraadi biogaasitootlikkus. Putukasõnnik on ogakärblase (*Hermetia illucens*) kasvatuse jääkprodukt.

Kogutud kalu ja kalajäätmeid säilitati sügavkülmas. Samuti oli sügavkülmutatud kalasõnniku 14.05.20 proov. Külmutatud kala purustati enne katsetes kasutamist sae ja noa abil väiksemateks tükkideks. Seejärel tehti proovid peenemateks tükkideks kääride või köögikombainiga. Seenesubstraat tehti väiksemateks tükkideks noa abil. Putukasõnnikut ning kalasõnnikut ei olnud vaja enne katsesse panekut peenestada.

Biogaasi ja biometaan katsetes kasutati mikroorganismide allikana (edaspidi inokulum) käärimisjääki, mis pärines Tartu reoveepuhasti anaeroobsest kääritist. Käärimisjääk sõeluti läbi 2 mm suuruse avaga sõela ning hoiti enne katsete algust 5 päeva 36°C juures et käärimisjäägis kiiresti lagunevad ained laguneksid ning üleliigsed gaasid lenduksid.

Proovide üldiseks iseloomustamiseks määrati kõigepealt kuivaine (KA) ning orgaanilise aine (OA) sisaldused proovis. Kuivaine määramiseks kuivatati kõiki proove üleöö 105°C juures. Kui kuivaine oli määratud põletati kuivatatud proove neli tundi 550°C juures muhvelahjus. Orgaanilise aine sisaldus proovides määrati põletuskaona.

### **2.3. Biogaasi ja biometaan potentsiaali määramine**

Biogaasi ja biometaan potentsiaali (BMP, *biochemical methane potential*) määramine viidi läbi Owen *et al* (1979) ning Angelidaki *et al* (2009) poolt väljatöötatud juhendite alusel.

Katsetes kasutati 575 ml mahutavusega klaaspudeleid, mis täideti 200 ml ulatuses. Proovi ehk substraadi (S) ja inokulumi (I) katseks vajalikud kogused arvutati välja nii, et materjali oleks klaaspudelis kokku 200 g, S/I suhtega ligikaudu 0,2–0,3 orgaanilise aine järgi (Tabel 2). Proovid kaaluti laborikaaluga täpsusega  $\pm 0,01$  g. Selleks, et hiljem saaks biogaasi tootlikkust leida substraadi kohta, tehti ka nn *blank* katsed, kuhu substraati ei lisatud ning kasutati 200 g inokulumi.

Enne katse algust, hapniku eemaldamiseks, puhuti katsepudelid läbi umbes 5–10 minuti jooksul gaasiga, mis koosnes 80% lämmastikust ja 20% süsinikdioksiidist. Seejärel suleti pudelid hermeetiliselt kummist korkide ja alumiiniumist keermega korkide abil. Proovid asetati termokappi, kus temperatuur oli püsivalt 36°C. Pudelis olevaid segusid segati käsitsi pärast igat mõõtmist pudeleid loksutades.

Esimesed rõhumõõtmised tehti 2 tundi pärast pudelite hermeetiliselt sulgemist ja termokappi panekut. Rõhu mõõtmiseks kasutati rõhumõõturit (BMP-Testsystem WAL, Meß- und Regelsysteme GmbH) ja metaani hulga mõõtmiseks gaasis kasutati gaaskromatograafi Micro-GC CP-4900 (Varian Inc.). Täpsemad gaaskromatograafilise analüüsi tingimused on leitud Mario Alberto Luna Del Risco 2011 aastal valminud doktoritöös (Luna del Risco 2011).

Käärimisprotsessi jälgimiseks mõõdeti kõigepealt rõhumõõturiga pudelis tekkinud rõhk ( $P_0$ ). Seejärel sisestati pudelist gaasiproov gaaskromatograafi ja määrati gaasis metaani sisaldus protsentides. Peale gaaskromatograafilist analüüsi mõõdeti rõhumõõturiga uuesti rõhk pudelis ( $P_f$ ).

Katsete esimesel nädalal mõõdeti rõhu ja metaani sisaldus iga päev (va nädalavahetus), seejärel vastavalt käärimisprotsessi intensiivsusele kolm korda nädalas ja katse lõpu poole üks kuni kaks korda nädalas.

Saadud mõõtmistulemused kanti EMÜ Bio- ja keskkonnakeemia laboris väljatöötatud Microsoft Exceli „BMP Calculation“ arvutustabelisse, mis arvutas välja katsete käigus tekkinud biogaasi ja biometaani kogused. Biogaasi kumulatiivse tootlikkuse arvutamiseks lahutati toodetud biogaasi kogusest *blank* proovide biogaasi kogused. Sarnaselt biogaasile arvutati ka kumulatiivne biometaani tootlikkus. Gaasiteket väljendati normaaltingimustel (0°C, 1 atm) kilogrammi kuivaine (KA) või orgaanilise aine (OA) kohta. Lisaks arvutati metaani protsent biogaasis. Mõnedes proovides täheldati gaasilekkeid ning neid lõpptulemuste arvutamisel arvesse ei võetud.

Kolmandale uurimisküsimusele vastuse leidmiseks kalajäätmetest biogaasi tootmiseks kehtivate nõuete kohta kasutati Google otsingumootorit, mille tulemusena jõuti Põllumajandus- ja Toiduameti kodulehele, kus oli koondatud info loomsete kõrvalsaaduste klassifitseerimise kohta ning nende käitlemist reguleerivatest õigusaktidest. Uurimisküsimusele vastuse leidmiseks töötati läbi jäätmeseadus koos selle alusel vastu võetud määrustega, Euroopa Parlamendi ja nõukogu määrus nr 1069/2009 ja Euroopa Komisjoni määrus nr 142/2011.

### 3. TULEMUSED JA ARUTELU

#### 3.1. Kuivaine ja orgaaniline aine proovides

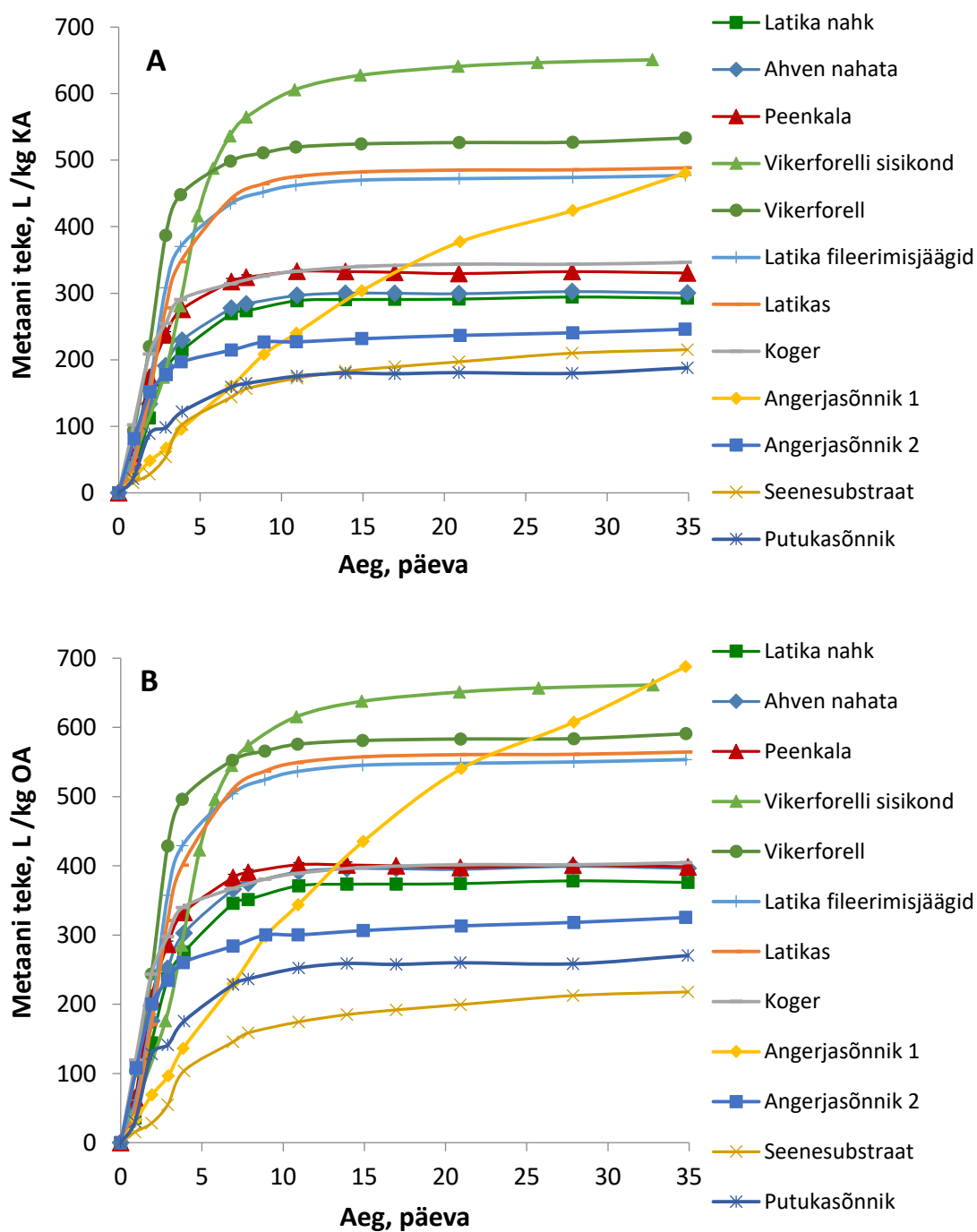
Analüüsitud proovide kuivaine (KA) ja orgaanilise aine (OA) sisaldused on esitatud tabelis 3. Kõige rohkem oli uuritud proovides kuivainet putukasõnnikus, 86,1%, ja kõige vähem angerjasõnnikus (7,3–7,4%). Kalajäätmete kuivainesisaldus oli vahemikus 24–43%, teiste kalajäätmetega võrreldes oli suurima kuivaine sisaldusega vikerforelli sisikond. Uuritud proovidest orgaanilise aine osakaal kuivaines oli suurem vikerforelli sisikonnas ja seenesubstraadis. Teistest vähem orgaanilist ainet kuivaines oli putukasõnnikus ja angerjasõnnik 1 (04.03.21) proovis.

**Tabel 3.** Proovide kuivaine (KA) ja orgaanilise aine (OA) sisaldus

Proov	KA,%	OA,% KA
Latika nahk	43,2%	77,8%
Ahven (nahata)	25,3%	75,8%
Latika fileerimisjäägid	34,9%	86,2%
Vikerforelli sisikond	74,1%	98,4%
Peenkala	23,9%	82,9%
Latikas	33,2%	86,5%
Koger	27,5%	85,6%
Vikerforell	27,2%	90,2%
Angerjasõnnik 1	7,3%	69,8%
Angerjasõnnik 2	7,4%	75,6%
Seenesubstraat	38,1%	98,8%
Putukasõnnik	86,1%	69,5%

### 3.2. Biogaasi ja biometaani tootlikkus

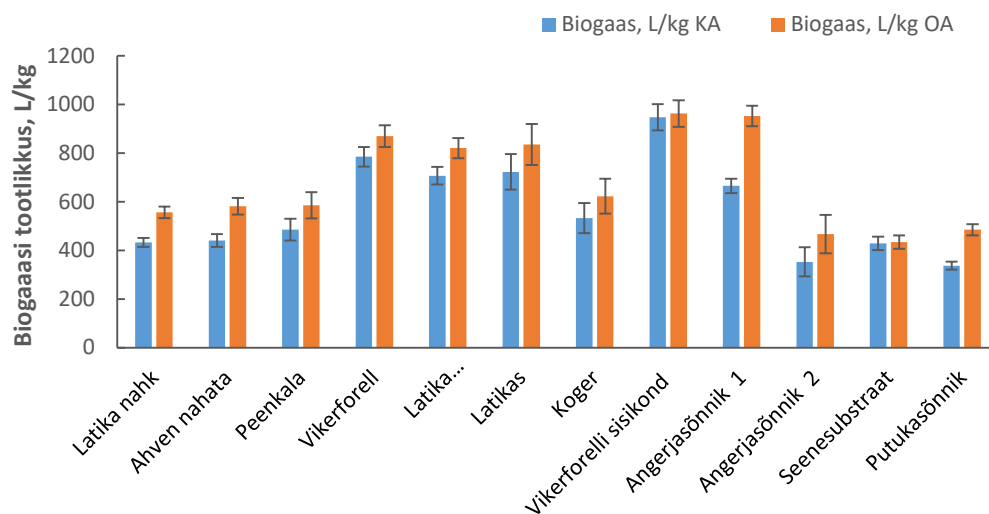
Biometaani teke ajas katsete käigus kõikide uuritud proovide kohta on esitatud joonisel 6.



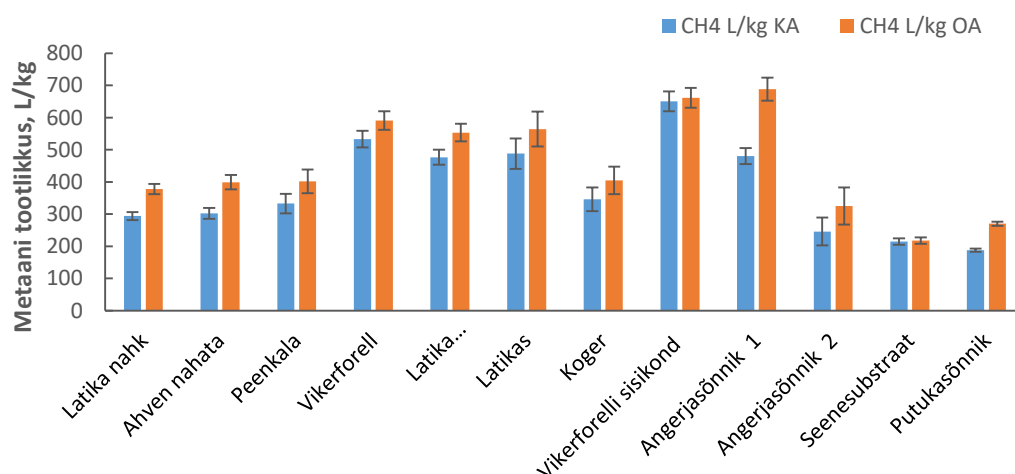
**Joonis 6.** Kumulatiivne metaani teke katse käigus erinevate proovide korral: A) metaani teke kg kuivaine kohta, B) metaani teke kg orgaanilise aine kohta.

Jooniselt 6 on näha, et metaani tekke kiirus oli suurem kalajäätmete korral. Kalajäätmete korral saavutati 95% maksimaalsest metaani tootlikkusest ligikaudu 9–10 päevaga, vikerforelli sisikonna korral 14 päevaga. Seenesubstraadi ja putukasõnniku korral oli metaani teke võrreldes kalajäätmetega aeglasem. Erandiks oli angerjasõnnik 1 (joonis 6), mille korral kumulatiivne metaani tekke püsivalt ajas kasvas kogu katseperioodi jooksul.

Uuritud proovide biogaasi tootlikkused kuivaine ja orgaanilise aine kohta on näidatud joonistel 7, metaani tootlikkused joonisel 8 ning arvandmed esitatud tabelis 4.



**Joonis 7.** Kalajäätmete, seenesubstraadi ja putukasõnniku biogaasi tootlikkus kuivaine (KA) ja orgaanilise aine (OA) kohta (veajooned tähistavad standardhälbeid).



**Joonis 8.** Kalajäätmete, seenesubstraadi ja putukasõnniku metaani tootlikkus kuivaine (KA) ja orgaanilise aine (OA) kohta (veajooned tähistavad standardhälbeid).

**Tabel 4.** Kalajäätmete, seenesubstraadi ja putukasõnniku biogaasi ja metaani tootlikkus (keskmine  $\pm$  standardhälve)

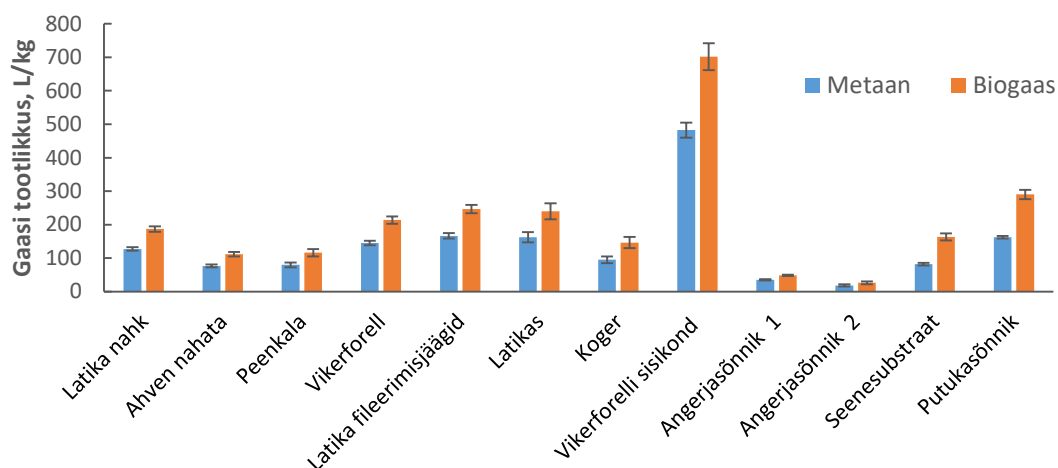
Proovi nimi	Biogaas, L/kg KA	Biogaas, L/kg OA	CH <sub>4</sub> , L/kg KA	CH <sub>4</sub> , L/kg OA
Latika nahk	433 $\pm$ 19	556 $\pm$ 24	294 $\pm$ 12	378 $\pm$ 16
Ahven nahata	440 $\pm$ 26	581 $\pm$ 35	302 $\pm$ 17	399 $\pm$ 23
Latika fileerimisjääd	707 $\pm$ 36	820 $\pm$ 42	477 $\pm$ 23	554 $\pm$ 27
Vikerforelli sisikond	947 $\pm$ 54	962 $\pm$ 55	651 $\pm$ 31	661 $\pm$ 31
Peenkala	485 $\pm$ 45	585 $\pm$ 54	333 $\pm$ 30	402 $\pm$ 37
Latikas	722 $\pm$ 73	835 $\pm$ 84	488 $\pm$ 47	564 $\pm$ 55
Koger	532 $\pm$ 61	622 $\pm$ 72	346 $\pm$ 37	405 $\pm$ 43
Vikerforell	785 $\pm$ 40	870 $\pm$ 44	533 $\pm$ 26	591 $\pm$ 29
Angerjasõnnik 1	665 $\pm$ 29	952 $\pm$ 42	480 $\pm$ 25	688 $\pm$ 36
Angerjasõnnik 2	353 $\pm$ 60	467 $\pm$ 79	246 $\pm$ 43	325 $\pm$ 57
Seenesubstraat	428 $\pm$ 28	434 $\pm$ 28	215 $\pm$ 10	218 $\pm$ 10
Putukasõnnik	337 $\pm$ 16	485 $\pm$ 23	188 $\pm$ 5	270 $\pm$ 7

KA– kuivaine, OA – orgaaniline aine

Kõige enam tekkis uuritud kalajäätmetest biogaasi ja metaani vikerforelli sisikonnast. Vikerforelli sisikonna proovi rasvasisaldus oli suur, selle peamine koostisosa oli kalaõli. Biogaasi tootlikkus rasvadest on kõrge, seetõttu on oluline rasva sisaldus proovis. Vikerforell on rasvane kalaliik (Lastik 2020) ning rasvaprotsent kalas 2,7% (Ellermaa 2017). Ahvena rasvasisaldust peetakse madalaks (Ginter et al 2016). Kalade rasvasisaldust mõjutab kalade toitmine kalakasvandustes (Ginter et al 2016).

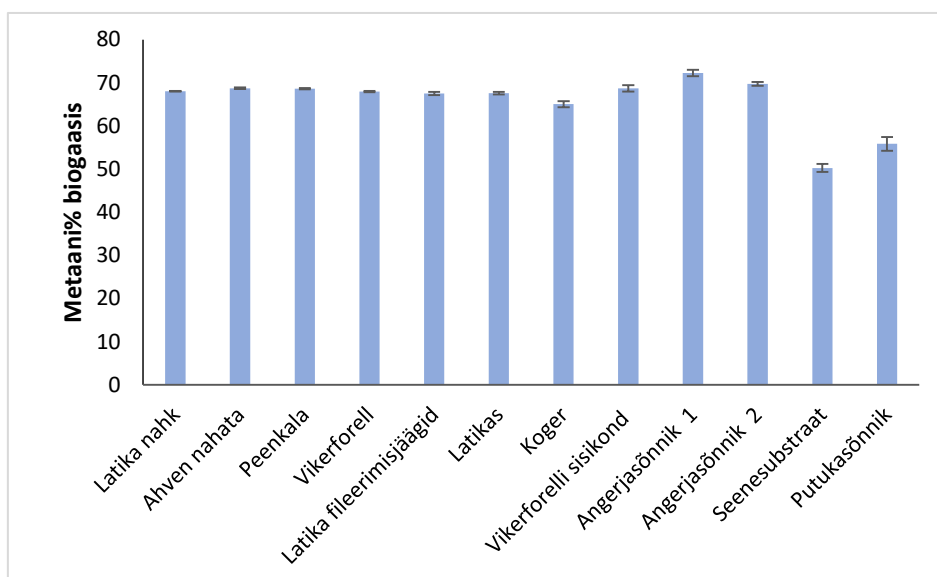
Teistest proovidest väiksem biogaasi ja biometaani tootlikkus oli seenesubstraadil ja putukasõnnikul. Seenesubstraadi peamine koostisosa on saepuru, mis koosneb peamiselt tselluloosist, hemitselluloosist ja ligniinist, mis on polümeersed ning mille lagundamine käärimisprotsessis võtab ka rohkem aega ja ei ole nii efektiivne kui näiteks rasvade või valkude lagunemine, mis kalajäätmete peamised koostisosad.

Proovide biogaasi ja biometaani tootlikkust on võimalik võrrelda ka märgmassi alusel. Kui vaadata, kui palju on võimalik toota uuritud materjalide märgmassist ehk proovi originaalkaalust biogaasi ja biometaani, siis näeme jooniselt 9, et selgelt eristub vikerforelli sisikond, mille biogaasi tootlikkus 702 L/kg ja metaani tootlikkus 482 L/kg on teistest kalaproovidest 3–6 korda suurem. Teiste proovidega võrreldes on oluliselt vähem biometaani märgmassi kg kohta võimalik toota angerjasõnnikust, 18–35 L/kg.



**Joonis 9.** Biogaasi ja biometaani tootlikkus kg proovi märgmassi kohta (veajooned tähistavad standarhálbeid)

Kõigi uuritud kalajäätmete metaani sisaldus biogaasis oli vahemikus 65–72% (Joonis 10). Kõige kõrgem metaani sisaldus biogaasis saavutati angerjasõnniku proovide korral (70–72%), vähim metaani (65%) sisaldas kogrest saadud biogaas. Kalajäätmetest oluliselt vähem metaani sisaldas seenesubstraadist ja putukasõnnikust toodetud biogaas, vastavalt 50% ja 56%. Vikereforelli sisikonna kääritamisel saadud biogaas sisaldas 22% rohkem biometaani kui seenesubstraadist saadud biogaas.



**Joonis 10.** Metaani protsendiline sisaldus biogaasis (veajooned tähistavad standardhálbeid).

Magistritöös analüüsiti toiduks kõlbmatuid kalu ja kalajäätmeid, mis võivad potentsiaalselt tekkida kalapüügil, kala töötlemisel või vesiviljelusettevõttes. Andmete analüüsimisel jagati



uuritud proovid rühmadesse, kus ühe rühmana käsitleti kala töötlemisel tekkivaid jäätmeid, teise rühmana kalade proove ja kolmanda rühmana kalasõnniku proove. Kala töötlemisjäätmete (latika nahk, ahven nahata, fileerimisjäätgid ja vikerforelli sisikond) biogaasi tootlikkus kuivaine kohta oli 433–947 L/kg (keskmine tootlikkus koos standardhälbega  $632 \pm 34$  L/kg KA). Kalaproovide (latikas, koger, peenkala ja vikerforell) biogaasi tootlikkus oli kuivaine kohta 485–785 L/kg (keskmine tootlikkus koos standardhälbega  $631 \pm 55$  L/kg KA).

Angerjasõnniku proovide biogaasi tootlikkus oli väga erinev. Kõrgem biogaasi tootlikkus oli 04.03.2021 kogutud angerja sõnnikul ( $665$  L/kg TS,  $952$  L/kg OA).

Kalajäätmete maksimum, miinimum ja keskmine metaani tootlikkus gruppide kaupa on kajastatud tabelis 5.

**Tabel 5.** Kalajäätme gruppide maksimum, miinimum ja keskmine metaani tootlikkus kuivaine (KA) ja orgaanilise aine (OA) kohta

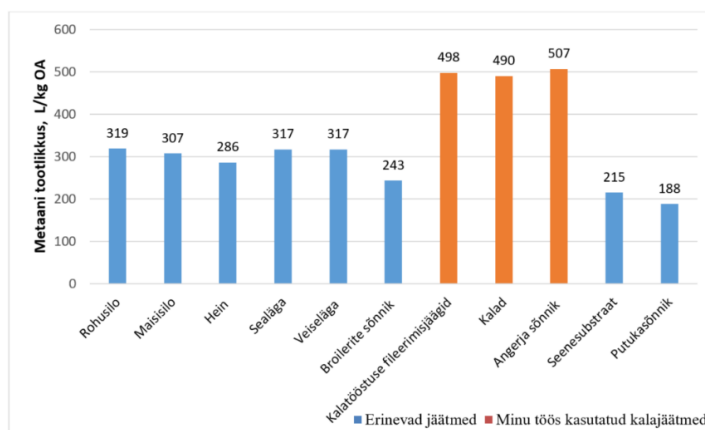
Rühm	CH <sub>4</sub> , L/kg KA			CH <sub>4</sub> , L/kg OA		
	max	min	keskm	max	min	keskm
Kala töötlemisjäätmed	$651 \pm 38$	$294 \pm 19$	$431 \pm 169$	$661 \pm 45$	$378 \pm 24$	$498 \pm 134$
Kalad	$533 \pm 26$	$333 \pm 45$	$425 \pm 101$	$564 \pm 55$	$402 \pm 54$	$490 \pm 101$
Angerjasõnnik	$480 \pm 14$	$246 \pm 69$	$363 \pm 166$	$688 \pm 21$	$325 \pm 91$	$507 \pm 256$

Erinevaid gruppe omavahel võrreldes on näha, et metaani keskmine tootlikkus on sarnane kala töötlemisjäätmetel ja kaladel, madalam metaanitootlikkus angerjasõnniku korral (Tabel 5). Võrdlesin oma töös saadud peenkala tulemusi Villem Kutti magistr töö tulemustega, kus ka tema üheks uurimisobjektiks oli peenkala purustatud kujul, mis sisaldas luid, pead ja sisikonda. Kutti magistr töös peenkala metaani tootlikkus kuivaine kohta oli  $359$  L/kg KA (Kutti 2019), mis on ligilähedane käesolevas töös saadud tulemusega  $333$  L/kg KA.

Samuti võrdlesin oma tulemusi 2012. aastal OÜ Eesti Keskkonnauuringute Keskuse (EKUK) poolt läbi viidud uuringuga, kus määrati lisaks teistele biolagunevate jäätmetele ka kalarasva ning kalajäätmete biogaasi ja biometaani potentsiaal (Pauklin, Kõrgmaa 2012). Kalajäätmete proov koosnes külmutatud kalajäätmetest ning vürtsitatud kalajäätmetest suhtega üks ühele. Metaani tootlikkus orgaanilise aine kohta oli nimetatud uuringus kalarasval  $998$  m<sup>3</sup>/t ( $998$  L/kg OA) ja kalajäätmetel  $724$  m<sup>3</sup>/t ( $724$  L/kg OA). Käesolevas

töös uuritud kala töötlemisjäätmete keskmine metaani tootlikkus orgaanilise aine kohta oli  $498 \pm 134$  L/ kg OA, mis on oluliselt väiksem eespool nimetatud uuringu tulemustega võrreldes. Tulemuste erinevust saab seletada erinevate jäätmeproovidega. Kalarasva metaani tootlikkus oli ligikaudu 2 korda suurem käesolevas töös saadud kalajäätmete keskmisest tulemusest. Võrdlesin oma töös saadud angerjasõnniku tulemusi 2014. aastal Kuusik *et al* läbi viidud uuringuga kalasõnniku metaani potentsiaali määramiseks. Kalasõnniku metaani tootlikkus orgaanilise aine kohta oli 358–370 m<sup>3</sup>/t OA (Kuusik *et al* 2014) ja leiti, et kalasõnnik on perspektiivne substraat reoveesetega kooskäiritamiseks. Käesolevas töös angerjasõnnik 2 korral saadi sarnane tulemus, angerjasõnniku proovide keskmine metaani tootlikkus orgaanilise aine kohta oli aga kõrgem,  $507 \pm 256$  L/kg.

Kala ja kalajäätmete võrdlus mõnede teiste biogaasi tootmiseks kasutatavate jäätmete biometaan tootlikkusega on toodud joonisel 11. Jooniselt nähtub selgelt, et kala ja kalajäätmete metaani tootlikkus orgaanilise aine kohta on ligikaudu 1,5–2 korda suurem kui biogaasi tootmiseks peamiselt kasutatavatel põllumajanduslikel substraatidel. Biogaasi tootlikkust saab suurendada kooskäiritamisega, reguleerides jäätmete süsiniku ja lämmastiku suhet ning veesisaldust (Rena *et al* 2018). Näiteks saaks praegu kasutusel olevates biogaasijaamades lisada kalajäätmeid põllumajanduslikele energiakultuuridele. Ka varasemad uuringud on näidanud, et kalajäätmete anaeroobsel käiritamisel ja kooskäiritusel on märkimisväärne potentsiaal biometaan tootmiseks (Ivanovs *et al* 2018, Kuusik *et al* 2014).



**Joonis 11.** Kalajäätmete biometaan keskmise tootlikkuse võrdlus erinevate jäätmete biometaan tootlikkusega. Andmed rohusilo, maisisilo, heina, sealäga ja veiseläga kohta Luna del Risco doktoritööst (Luna del Risco *et al* 2011), broilerisõnniku kohta EKUK aruandest (Pauklin, Kõrgmaa 2012).

### 3.3. Kalajäätmete biometaanipotentsiaal

Käesolevas töös leiti, kui palju on võimalik toota biometaan erinevatest kalajäätmetest ning suurim biometaanitootlikkus oli vikerforelli sisikonnal, 482 L/kg märgmassi kohta. Kui oletada, et vikerforelli kasvatavates vesiviljelusettevõtetes tekib aastas ligikaudu 30 tonni jäätmeid, saaks sellest toota ligikaudu 14460 m<sup>3</sup> metaani. Energiaks ümberarvutatuna oleks see 135924 kWh, arvestades, et 1 m<sup>3</sup> biometaanist saab 9,4 kWh energiat (Velling, Vaasma 2013). See on ekvivalentne 14460 liitri vedela mootorikütusega. Kui arvestada, et sõiduauto kulutab 6 liitrit kütust 100 kilomeetri kohta, saaks sellise koguse metaaniga sõita 241000 km.

Käesolevas töös vikerforelli metaanitootlikkuseks märgaine kohta oli 145 L/kg. Arvestades, et vikerforelli võib kalakasvandustes hukkuda aastas ligikaudu 5 tonni, saaks nendest kaladest 725 m<sup>3</sup> metaani. Energiaks ümberarvutatuna oleks see 6815 kWh. Kui aastas tekib 5 tonni surnud vikerforelli, saaks sellest toodetud metaanist vedelkütusele ümber arvutades sõita 12083 km.

Alternatiivina biometaanikütusena kasutamise asemel võiks kaaluda energia (kWh) tootmist jäätmetest, arvestamata energia tootmisel kaduma minevat energiat. 30 tonnist vikerforelli sisikonnast aastas saaks 135924 kWh energiat. Selle energiaga saaks näiteks terve aasta aega vaadata televiisorit (kulutab aastas u 100 kWh), kasutada külmkappi (u 420 kWh), nõudepesumasinat (u 280 kWh), pesumasinat (260 kWh), elektriühju ja -pliiti (u 280 + 420 kWh) ja teisi väiksemaid kodumasinaid (u 360 kWh) millest suurimad kulutajad on veekeetja, triikraud, mikrolaineahi ja tolmuimeja (Aedla 2016).

Tabelis 6 on näitena välja arvutatud kõigi töös kasutatud kalajäätmete proovide erinevad energiaväärtused märgaine kohta, arvestades, et kõiki jäätmeid tekib üks tonn aastas.

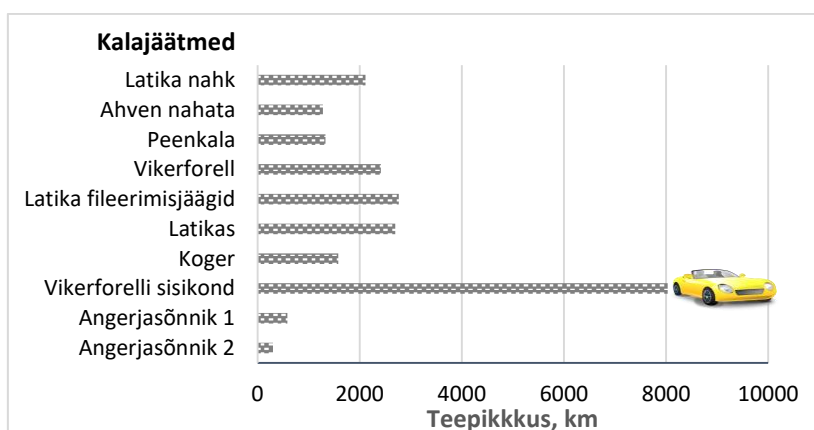
**Tabel 6.** Ühe tonni (märgmassina) kalajäätmete metaanitootlikkus ja energiasisaldus

Proov	Metaan (m <sup>3</sup> )	Energia (kWh) *	Läbitav teekond (km)**
Latika nahk	127	1194	2117
Ahven nahata	77	724	1283
Peenkala	80	752	1333
Vikerforell	145	1363	2417
Latika fileerimisjäägid	166	1560	2767
Latikas	162	1523	2700
Koger	95	893	1583
Vikerforelli sisikond	482	4531	8033
Angerjasõnnik 1	35	329	583
Angerjasõnnik 2	18	169	300

\* arvestades, et 1 m<sup>3</sup> biometaanist saab 9,4 kWh energiat

\*\* arvestades, et 1 m<sup>3</sup> metaani on ekvivalentne 1 l mootorikütusele ning sõiduauto kulutab 6 L/100 km.

Joonisel 12 on näitena visualiseeritud vahemaa, mis on võimalik läbida sõiduautoga ühest tonni kalajäätmetest saadud metaaniga.



**Joonis 12.** Ühest tonnist (märgmassina) kalajäätmetest toodetud biometaaniga võimalik läbisõit (arvestades 1 m<sup>3</sup> metaani on ekvivalentne 1 liitri mootorikütusega ning sõiduauto kulutab 6 L/100 km).

## KOKKUVÕTE

Üle maailma räägitakse kliimamuutustest ja suurenenud CO<sub>2</sub> heitmete hulgast, kuid sellest hoolimata sõidab enamik meie transpordisektori sõidukeid ringi fossiilsetel kütustel. Aastaks 2030 on võtnud Eesti eesmärgiks kasutada transpordis 14% taastuvkütuseid, millest osa on plaanis katta biometaaniga. Kuna kala töötlemisel tekib märkimisväärne kogus jäätmeid, siis võiks neid biolagunevaid kalajäätmeid ära kasutada anaeroobsel kääritamisel biogaasi tootmiseks, mis on oluline taastuvenergia fossiilsete kütuste asendajana.

Magistritöö eesmärk on saada teada toiduks kõlbmatu kala ja kala töötlemisel tekkivate jäätmete potentsiaal biogaasi ja biometaani tootmiseks ning selgitada välja biogaasi tootmiseks anaeroobse kääritamise teel kehtestatud nõuded. Biogaasi ja metaani tootlikkust uuriti eksperimentaalselt biometaani potentsiaali (BMP, *biochemical methane potential*) katsetega.

Kalajäätmed kuuluvad 3. kategooria loomsete kõrvalsaaduste hulka ning nendest on lubatud toota biogaasi anaeroobse kääritamise teel. Loomsete kõrvalsaaduste ja nende töötlemisel saadud toodete käitlemine peab toimuma vastavalt Euroopa Parlamendi ja nõukogu määruse (EÜ) nr 1069/2009 ja Euroopa Komisjoni määruse (EL) nr 142/2011 nõuetele. Kalajäätmeid käitlevates biogaasijaamades peab olema tagatud jäätmete hügieniseerimine, nõutav on jäätmete töötlemine 70°C juures vähemalt 1 tund.

Analüüsitud kala töötlemisjäätmete metaani tootlikkus kuivaine kohta oli 294–651 L/kg (keskmine tootlikkus koos standardhälbega 431±169 L/kg KA). Kõige kõrgem metaani tootlikkus oli vikerforelli sisikonnal (651 L/kg KA, 661 L/kg OA). Kalaproovide metaani tootlikkus kuivaine kohta oli 333–533 L/kg (keskmine tootlikkus koos standardhälbega 425±101 L/kg KA). Kõige kõrgem metaani tootlikkus oli vikerforellil (533 L/kg KA, 591 L/kg OA). Angerjasõnniku proovide metaani tootlikkus kuivaine kohta jäi vahemikku 246–480 L/kg ja orgaanilise aine kohta 325–688 L/kg. Tulemustest võib järeldada, et biogaasi tootlikkus sõltub oluliselt kalajäätmete rasvasisaldusest. Kalajäätmetest saadud biogaasis oli metaani sisaldus 65–72%.

Tulemustest selgus, et kõige suurem biometaanipotentsiaal oli vikerforelli sisikonnal, mille korral 1 tonnist jäätmetest saab potentsiaalselt toota 482 m<sup>3</sup> biometaanit. Lisaks arvutati välja ka teiste uuritud kalajäätmete potentsiaal.

Tulemused kinnitasid, et kalajäätmetel on suur potentsiaal biogaasi ja biometaanitootmiseks. Neid oleks otstarbekas kasutada kooskääritamisel teiste substraatidega biogaasitootmise efektiivsuse tõstmiseks. Võrreldes biogaasijaamades laialdaselt kasutatavate põllumajanduslike substraatidega saab kalajäätmetest 1,5–2 korda rohkem biometaanit.

## SUMMARY

All over the world there is discussion of climate change and increased CO<sub>2</sub> emissions, but nevertheless most of transportation relies on fossil fuels. Estonia has taken a goal to use 14% of renewable fuels in transport sector by 2030, of which a part is planned to be covered by biomethane. Since fish processing produces a considerable amount of waste, the biodegradable fish waste could be used in anaerobic digestion to produce biogas, which is an important renewable fuel to substitute fossil fuels.

The goal of the thesis is to find out the potential of inedible fish and fish waste for biogas and biomethane production and to find out the established requirements for producing biogas by anaerobic digestion. The biogas and biomethane potentials were studied experimentally by biomethane potential (BMP) test.

Fish waste belong to category 3 animal by-products and they are allowed to be used for biogas production by anaerobic digestion. Handling of animal by-products and derived products must occur in accordance to Regulation (EC) No 1069/2009 of the European Parliament and of the Council and Commission Regulation (EU) No 142/2011. Biogas plants that handle fish waste must ensure its hygienization by processing waste at 70°C for at least 1 hour.

The methane potentials of analyzed fish waste were in the range of 294–651 L/kg TS (average potential with standard deviation was 431±169 L/kg TS). Rainbow trout gut showed the highest methane potential (651 L/kg TS, 661 L/kg VS). The methane potentials of fish samples were in the range of 333–533 L/kg TS (average potential with standard deviation was 425±101 L/kg TS). Rainbow trout showed the highest methane potential (533 L/kg TS, 591 L/kg VS). Samples of eel manure had biomethane potential from 246 to 480 L/kg TS and from 325 to 688 L/kg OA. The results showed that biogas productivity is significantly dependent on fat content of fish waste.

Methane content in biogas produced from fish waste was 65–72%. The results showed that the highest biogas potential had rainbow trout gut, from 1 ton of gut 482 m<sup>3</sup> of biomethane could potentially be produced. In addition, the biogas potentials of other analyzed fish waste were calculated.

The results confirmed that fish waste has a great potential for biogas and biomethane production. It would be practical to co-digest fish waste with other substrates to increase the productivity of biogas production. Compared to agricultural substrates widely used for biogas production, from fish waste 1.5–2 times more biogas could potentially be produced.



## KASUTATUD KIRJANDUS

- Achinas, S., Achinas, V., Euverink. G.** (2020). Bioreactors Sustainable Design and Industrial Applications in Mitigation of GHG Emissions - Chapter 2 - Microbiology and biochemistry of anaerobic digesters: an overview, pp 17-26.
- Aedla, M.** (2016). Kodutehnika võib olla salakaval raharaiskaja. – *Ärileht*. [e-ajaleht] <https://arileht.delfi.ee/artikkel/74960073/kodutehnika-voib-olla-salakaval-raharaiskaja> (20.05.21).
- Ellermaa, E.** (2017). Kui palju sisaldavad erinevad kalad ja mereannid kasulikku rasva? – *Eesti Naine*. [e-ajaleht] <https://eestinaine.delfi.ee/artikkel/77538196/kui-palju-sisaldavad-erinevad-kalad-ja-mereannid-kasulikku-rasva> (20.05.2021).
- Angelidaki, I., Alves, M., Bolzonella, D., Borzacconi, L., Campos, J.L., Guwy, A.J., Kalyuzhanyi, S., Jenicek, P., van Lier, J. B.** (2009). Defining the biomethane potential (BMP) of solid organic wastes and energy crops: a proposed protocol for batch assays. – *Water Science and Technology* Vol 59, No 5, lk 928–930.
- Angelidaki, I., Karakashev, D., Batstone, D.-J., Plugge, C.-M., Stams, A.-J.-M.** (2011). Biomethanation and Its Potential – *Methods in Enzymology*, pp 330-249.
- Anija vald. Jäätmemajandus. [veebileht] <https://anija.kovtp.ee/jaatmemajandus> (28.02.2021).
- Annus, M., Lokk, A., Heinaste, T.**, (2019). Taastuvenergia aastaraamat 2019. *since loco*.
- Baltibiometaan. (2021). Biogaasi tootmine on täna tasuvam kui kunagi varem. [veebileht] [http://baltibiometaan.ee/wp-content/uploads/2013/12/BioGTS\\_est.pdf](http://baltibiometaan.ee/wp-content/uploads/2013/12/BioGTS_est.pdf) (07.03.2021).
- Balti Biometaan OÜ. (2021). Metaankütused. [veebileht] <http://baltibiometaan.ee/metaankutused/> (07.02.2021).
- Biogaasi tootmine ja kasutamine. (2009). / Toim. Normak, A., Vollmer, E., Orupõld, K., Kask, Ü. Keeletoim. Veske, K., Lillemägi, M., Sõrra, J. Tartu. Eesti Põllumeeste Keskliit. 157 lk.
- Bharathiraja, B., Sudharsanaa, T., Jayamuthunagaib, J., Praveenkumarc, R., Chozhavendhand, S., Iyyappan. J.** (2018). Biogas production–A review on composition, fuel properties, feed stock and principles of anaerobic digestion. - *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 90, pp 570-582.
- Carvalho, L., Di Berardino, S., Duarte, E.** (2014). Anaerobic digestion of a fish processing industry sludge - 16th European Biosolids and Organic Resources Conference.
- Eesti Biogaasi Assotsiatsioon. Tootmine ja kasutamine [veebileht] <http://eestibiogaas.ee/tootmine-ja-kasutamine/> (19.01.2021).

- Eesti keele seletav sõnaraamat. „Eesti kirjakeele seletussõnaraamatu“ 2., täiendatud ja parandatud trükk. 2009. Langemets, M., Tiits, M., Valdre, T., Veskis, L., Viks, Ü., Voll, P. (toim.) Eesti Keele Instituut. <https://www.eki.ee/dict/ekss/ekss.html> (17.01.2021)
- Eesti riiklik energia- ja kliimakava aastani 2030 (REKK 2030). (2019). Majandus- ja kommunikatsiooniministeerium. <https://www.mkm.ee/et/eesmargid-tegevused/energeetika/eesti-riiklik-energia-ja-kliimakava-aastani-2030> (07.02.2021).
- Eesti tingimustesse sobivate biogaasi metaaniks puhastamise tehnoloogiate rakendatavus ning keskkonna ja majanduslikud mõjud. (2014). Tallinna Tehnikaülikool. Soojustehnika instituut. <https://www.kik.ee/sites/default/files/6234.pdf> (20.05.2021).
- Ehitusportaal. (2021). Alternatiivküte – biogaas. [veebileht] <https://et.gardendecorgalore.com/6844494-alternative-heating-biogas> (02.04.2021).
- Elering. (2021a). Taastuvelekter kattis möödunud aastal neljandiku tarbimisest. [veebileht] <https://elering.ee/taastuvelekter-kattis-moedunud-aastal-neljandiku-tarbimisest> (07.02.2021).
- Elering. (2021 b). Biometaani päritolutunnistused ja statistika. [veebileht] <https://elering.ee/biometaani-paritolutunnistused-ja-statistika> (07.02.2021).
- Elering. (2021 c). Biometaani tootmine ja potentsiaal Eestis. [veebileht] <https://elering.ee/gaasiturukasiraamat/7-biometaan/73-biometaani-tootmine-ja-potentsiaal-eestis> (07.03.2021).
- Elering. (2021c). Taastuenergia toomisvõimalused Eestis (olemasolev olukord ja tulevikusuunad). [veebileht] <https://elering.ee/elektriturukasiraamat/5-taastuenergeetika/54-taastuenergia-toomisvoimalused-eestis-olemasolev>. (07.02.2021).
- Elering. (2021 d). Biogaas ja biometaan. [veebileht] <https://elering.ee/gaasiturukasiraamat/7-biometaan/71-biogaas-ja-biometaan>. (07.02.2021).
- Euroopa Parlamendi ja nõukogu määrus (EÜ) nr 853/2004 lisa 1 p 8.1 (2004). Euroopa Parlament. (<https://eur-lex.europa.eu/legal-content/ET/TXT/PDF/?uri=CELEX:32004R0853&from=ET>)
- Euroopa Parlamendi ja nõukogu määrus (EÜ) nr 1069/2009 (2009). Euroopa Parlament. (<https://eur-lex.europa.eu/legal-content/ET/TXT/PDF/?uri=CELEX:32009R1069&from=DA>)
- Euroopa Parlamendi ja nõukogu määrus (EÜ) nr 2009/28 lisa 1 (2009). Euroopa Parlament. (<https://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2009:140:0016:0062:et:PDF>)
- Eurostat. (2019). Archive: Taastuenergia statistika. [https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Archive:Taastuenergia\\_statistika&oldid=430501#Energia\\_esmatoomine\\_taastuvatest\\_energiaallikatest](https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Archive:Taastuenergia_statistika&oldid=430501#Energia_esmatoomine_taastuvatest_energiaallikatest) (07.02.2021).
- Estonian Bioenergy. [veebileht] <http://estonianbioenergy.eu> (17.04.2021).
- Ginter, K., Gross, R., Järvalt, A., Kruusamägi, A., Paaver, T., Päkk, P. (2015). Kalakasvatus. Kalanduse teabekeskus. 146 lk.
- Haljastuses, rekultiveerimisel ja põllumajanduses kasutatava reoveesette kvaliteedi piirväärtused ning kasutamise nõuded<sup>1</sup>. (Vastu võetud 06.08.2019, muudetud, täiendatud viimati jõustunud

01.10.2019).

–

Riigi

Teataja

<https://www.riigiteataja.ee/akt/106082019007?dbNotReadOnly=true> (24.04.2021).

**Ivanovs, K., Spalvins, K., Blumberga, D.** (2018). Approach for modelling anaerobic digestion processes of fish waste - *Energy Procedia* 147, pp 390-396.

Jäätmeseadus. (vastu võetud 28.01.2004, muudetud, täiendatud viimati jõustunud 01.01.2021). –

*Riigi Teataja* <https://www.riigiteataja.ee/akt/114062013006?leiaKehtiv> (20.01.2021).

Jäätmete liigitamise kord ja jäätmenimistu<sup>1</sup>. (vastu võetud 14.12.2011, muudetud, täiendatud viimati jõustunud 01.01.2021). –

Riigi

Teataja

<https://www.riigiteataja.ee/akt/118122020026?leiaKehtiv> (20.01.2021).

**Kask, Ü.** (2020). EUREM. Biomass, biogaas, bioenergia, III. [veebileht] <https://www.sei.org/wp-content/uploads/2020/02/biomass-biogaas-bioenergia-%C3%BClo-kask.pdf> (23.01.2021).

**Kafle, G., Kim, S.** (2012). Evaluation of the Biogas Productivity Potential of Fish Waste: A Lab Scale Batch Study - *Journal of Biosystems Engineering*, pp 1-12.

Keskkonnaministeerium. Toidujäätmed ja toidujäätmete tekke vältimine. [veebileht] <https://www.envir.ee/et/eesmargid-tegevused/jaatmed/toidujaatmed-ja-toidujaatmete-tekke-valtimine> (20.01.2021).

Keskkonnaministeerium. Prügist energia saamine. [veebileht] <https://www.envir.ee/et/prugist-energia-saamine> (07.03.2021).

Keskkonnaministeerium. Ääremõrraga seirepuukide meetodika Võrtsjärves. [veebilink] [https://www.envir.ee/sites/default/files/aaremorra\\_seirepuukide\\_meetodika\\_vortsjarves\\_v1.0.pdf](https://www.envir.ee/sites/default/files/aaremorra_seirepuukide_meetodika_vortsjarves_v1.0.pdf) (07.03.2021).

**Korres, N., O'Kiely, P., Benzie, J., West, J.** (2013) Bioenergy Production by Anaerobic Digestion Using agricultural biomass and organic wastes, pp 203-429.

**Kriipsalu, M.** (2001). Jäätmeraamat. Ehitame kirjastus, 101 lk.

**Kriipsalu, M., Maastik, A., Truu J.** (2016). Jäätmekäitlus ja pinnase tervendamine. Tallinna Tehnikaülikool kirjastus, Tallinn. 376 lk

**Kutti, V.** (2019). Toidujäätmetest biogaasi tootmise potentsiaali hindamine. Magistritöö. Eesti Maaülikool. Tartu. 34 lk.

**Kuusik, A., Pachel, K., Kuusik, A., Loigu, E.** (2014). Anaerobic co-digestion of sewage sludge with fish farming waste. - *The 9th International Conference "Environmental engineering"*. Vilnius, Lithuania, pp 1-8.

**Lastik, H.** (2020). Vikerforelli (*Oncorhynchus mykiss*) värskuse ja mikrobioloogilise kvaliteedi hindamine jahutatult säilitamisel. Magistritöö. Eesti Maaülikool. Tartu. 67 lk.

**Luna Del Risco, M.A.** (2011). Biochemical methane potential of Estonian substrates and evaluation of some inhibitors of anaerobic. Eesti Maaülikool. Lk 9-124.

- Maaeluministeerium. Põllumajanduse, kalanduse, maaelu ja toiduainetööstuse ülevaade 2020 (2021). [veebilink] <https://www.agri.ee/sites/default/files/content/ylevaated/ulevaade-pokat-2020-02.pdf> (17.04.2021).
- Mao, C., Feng, Y., Wang, X., Ren, G.** (2015). Review on research achievements of biogas from anaerobic digestion - *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, pp 540-555.
- Masing, V.** (1992). Ökoloogialeksikon: loodusteaduslik oskussõnastik. Eesti Entsüklopeediakirjastus, Tallinn. 320 lk.
- Menert, A., Michelis, M., Kallaste, T., Vaalu, T.** (2015). Reoveesete kui taastuva energia allikas üks kliimamuutuste pidurdamise võimalusi? – *Keskkonnatehnika*, lk 6-10.
- Nofima. (2016). What is sludge made of? [veebileht] <https://nofima.no/en/forskning/naringsnytte/what-is-sludge-made-of/> (03.04.2021)
- Nõuded biolagunevatest jäätmetest biogaasi tootmisel tekkiva kääritusjäägi kohta. (Vastu võetud 10.05.2016, muudetud, täiendatud viimati jõustunud 01.01.2021). – *Riigi Teataja* <https://www.riigiteataja.ee/akt/118122020018?leiaKehitiv> (11.02.2021).
- Owen W. F., Stuckey D. C., Healy J. B., Young L. Y., McCarty P. L.** (1979). Bioassay for monitoring biochemical methane potential and anaerobic toxicity – *Water Research*. Vol 13, lk. 485 –492.
- Pauklin, T., Kõrgmaa, V.** (2012). Reoveesette töötlemise strateegia väljatöötamine, sh ohutu taaskasutamise tagamine järelevalve tõhustamise, keemiliste- ja bioloogiliste indikaatornäitajate rakendamise ning kvaliteedisüsteemide juurutamise abil. III ETAPP. OÜ Eesti Keskkonnaauuringute Keskus.
- Põllumajandus- ja Toiduamet. Loomsete kõrvalsaaduste käitlemine. [veebileht] <https://pta.agri.ee/loomsete-korvalsaaduste-kaitlemine#ldine-info-tegevusl> (27.02.2021).
- Põllumajandus- ja Toiduamet. Püügistatistika. [veebileht] <https://pta.agri.ee/ettevotjale-tootjale-jaturustajale/kutseline-kalapuuk/puugistatistika#item-2> (11.05.2021).
- Reporter. (2021). Teadlased soovivad peenkalast teha komposti ja kalakastet. [veebileht] <https://peegel.ut.ee/reporter/node/144> (07.03.2021).
- Reiska, R.** (s. a). Bioetanool puidust. Tallinna Tehnikaülikool, lk 1-46
- Rena, Y., Yua, M., Wua, C., Wanga, Q., Gaoa, M., Huanga, Q., Liu, Y.** (2018). A comprehensive review on food waste anaerobic digestion: Researchupdates and tendencies - *Bioresource Technology* 247, pp 1069-1076.
- Reoveesetest toote valmistamise nõuded. (Vastu võetud 28.07.2017, muudetud, täiendatud viimati jõustunud 01.01.2021). – *Riigi Teataja* <https://www.riigiteataja.ee/akt/128072017004?leiaKehitiv> (24.04.2021).
- Riigi üldine energiatõhususkohustus aastatel 2021-2030 ning taastuvenergia eesmärkide täitmine. (2018). Majandus- ja kommunikatsiooniministeerium.

- [https://www.mkm.ee/sites/default/files/180917\\_energiatohusus\\_2030\\_aruanne.pdf](https://www.mkm.ee/sites/default/files/180917_energiatohusus_2030_aruanne.pdf)  
(23.02.2021).
- RITA2/078 "Uuring „Biolagunevatest jäätmetest ja/või reoveesetest saadud materjalide kasutamise võimalused haljastustöid hõlmavates riigihangetes ja karjääride korrastamisel“ (8.08.2019–13.01.2020)", Piia Viks-Binsol, Civitta Eesti AS.
- Roheline raamat. Biojäätmete käitlus Euroopa Liidus. (2008). Euroopa ühenduste komisjon.  
<https://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=COM:2008:0811:FIN:ET:PDF>  
(03.04.2021).
- Scarlat, N., Dallemand, J-F., Fahl, F.** (2018). Biogas: Developments and perspectives in Europe. – *Renewable Energy* Vol 129, pp 457–472.
- Statistikaamet. Kalakasvatusevõtted müüsid möödunud aastal rekordkoguse vikerforelli (2020).  
[veebileht] <https://www.stat.ee/et/uudised/artikkel-2020-05-22-kalakasvatusevotted-muusid-moodunud-aastal-rekordkoguse-vikerforelli> (17.04.2021).
- Statistikaamet. Kalandus (2021). [veebileht] <https://www.stat.ee/et/find-statistics/statistics-theme/agriculture-fisheries-and-hunting/kalandus> (17.04.2021).
- Uuring biolagunevatest jäätmetest ja/või reoveesetest saadud materjalide kasutamise võimalused haljastustöid hõlmavates riigihangetes ja karjääride korrastamisel. (2019). Civitta Eesti AS, Alkranel OÜ.  
[https://www.envir.ee/sites/default/files/biolagunevatest\\_jaatmetest\\_materjalide\\_kasutamise\\_uuring\\_kodulehele.pdf](https://www.envir.ee/sites/default/files/biolagunevatest_jaatmetest_materjalide_kasutamise_uuring_kodulehele.pdf) (24.04.2021).
- Veeseadus (vastu võetud 30.01.2019, muudetud, täiendatud viimati jõustunud 01.01.2021). – *Riigi Tataja* <https://www.riigiteataja.ee/akt/122022019001?leiaKehtiv> (20.01.2021).
- Velling, S., Vaasma, T.** (2013). Energiaallikas maagaas. Kütteväärtus. Õpijuhis. Tartu Ülikool. Väheväärtusliku peenkala väärindamine. Eesti Maaülikool.  
[https://pk.emu.ee/userfiles/instituudid/pk/LIMKESKUS/peenkala\\_2020.pdf](https://pk.emu.ee/userfiles/instituudid/pk/LIMKESKUS/peenkala_2020.pdf) (28.02.2021).
- Weiland, P.**, 2010. Biogas production: current state and perspectives. *Applied Microbiology*

**Lihtlitsents lõputöö salvestamiseks ja üldsusele kättesaadavaks tegemiseks ning  
juhendaja kinnitus lõputöö kaitsmisele lubamise kohta**

Mina, Raimo Selgis,

Sünniaeg 24.11.1991,

1. annan Eesti Maaülikoolile tasuta loa (lihtlitsentsi) enda loodud lõputöö,  
„Kalajäätmete biogaasi tootlikkuse hindamine“, mille juhendaja on Kaja Orupõld,
  - 1.1 salvestamiseks säilitamise eesmärgil,
  - 1.2 digiarhiivi DSpace lisamiseks ja
  - 1.3 veebikeskkonnas üldsusele kättesaadavaks tegemiseks kuni autoriõiguse kehtivuse  
tähtaja lõppemiseni;
2. olen teadlik, et punktis 1 nimetatud õigused jäävad alles ka autorile;
3. kinnitan, et lihtlitsentsi andmisega ei rikuta teiste isikute intellektuaalomandi ega  
isikuandmete kaitse seadusest tulenevaid õigusi.

Lõputöö autor

\_\_\_\_\_

allkiri

Tartu, 24.05.2021

---

**Juhendaja kinnitus lõputöö kaitsmisele lubamise kohta**

Luban lõputöö kaitsmisele.

\_\_\_\_\_

(juhendaja nimi ja allkiri)

\_\_\_\_\_

(kuupäev)